



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejercicio físico en sujetos prediabéticos: Revisión bibliográfica y propuesta de intervención.

Autor: Pablo Rebolé San Martín

Director: Miguel Ángel Barajas Vélez

Titulación: Grado en Fisioterapia

Curso Académico: 2020-2021

Convocatoria de defensa: Septiembre

RESUMEN:

Antecedentes: La prediabetes es una condición determinada por una glucemia insuficiente para diagnosticar de diabetes, pero en cambio, superior a la normal. Se producen daños y síntomas propios de la diabetes y supone un alto riesgo de adquirirla. La dieta y el ejercicio han demostrado ser un buen método de tratamiento para tratar de reducir y normalizar la glucemia en este tipo de pacientes. Sin embargo, la literatura existente se encuentra limitada para poder determinar cuáles de los diferentes tipos de ejercicios obtiene mejores resultados.

Objetivos: Revisar la literatura publicada acerca de los diferentes tipos de ejercicios supervisados en sujetos prediabéticos, analizar su influencia en las diferentes variables que estos midan y proponer un método de tratamiento en base a estos resultados.

Metodología: Para la realización de esta revisión se utilizaron las bases de datos Pubmed, Pedro, y Cochrane.

Resultados: Se incluyeron 11 ensayos con ejercicio supervisado. Estos incluyeron HIIT, HIIT combinado con fuerza, ejercicio aeróbico combinado con fuerza, fuerza, ejercicio aeróbico y ejercicios de alta intensidad para niños. Todos ellos obtuvieron resultados positivos para alguna de las variables medidas (glucemia, insulina en sangre, composición corporal, perfil lipídico).

Conclusiones: No hay suficiente evidencia científica para determinar el mejor tipo de ejercicio que consiga disminuir la glucemia en sujetos prediabéticos. Sin embargo, todos han demostrado ser capaces de reducirla. Además, el ejercicio es capaz de mejorar la función de las células beta en sujetos prediabéticos y en concreto el de fuerza, fue el único que consiguió con seguridad aumentar la masa muscular en este tipo de sujetos.

Palabras clave: “Prediabetes”, “Ejercicio”, “Glucemia en ayunas”, “Test de tolerancia a la glucosa”.

Total de palabras: 17.375

ABSTRACT:

Background: Prediabetes is a condition determined by an insufficient blood glucose value to be diagnosed as diabetic but excessive to be considered as normoglycemic. It results in damage and symptoms characteristic of diabetes and is a high risk factor of acquiring diabetes. Diet and exercise have proven to be a good treatment method to try to reduce and normalize blood glucose in this type of patient. However, the existing literature is limited in order to determine which of the different types of exercise obtains better results.

Objectives: To review the published literature on the different types of supervised exercise in prediabetic subjects, to analyze their influence on the different variables they measure and to propose a treatment method based on these results.

Methodology: Pubmed, Pedro, and Cochrane databases were used for this review.

Results: Eleven supervised exercise trials were included. These included HIIT, HIIT combined with strength, aerobic exercise combined with strength, strength, aerobic exercise and high intensity exercise for children. All of them had positive results for some of the variables measured (blood glucose, blood insulin, body composition, lipid profile).

Conclusions: There is not enough scientific evidence to determine the best type of exercise to lower glycemia in prediabetic subjects. However, all have been shown to be able to reduce it. In addition, exercise is able to improve beta-cell function in prediabetic subjects and, in particular, strength exercise was the only one that reliably succeeded in increasing muscle mass in this type of subjects.

Keywords: "Prediabetes", "Exercise", "Fasting blood glucose", "Glucose tolerance test".

Total of words: 17.375

ABREVIATURAS:

ADA: *American Diabetes Association*

AIN: Alta intensidad para niños

A1C: Prueba o Test de la Hemoglobina glicosilada

CA: Componente activo

CC: Circunferencia cintura

DCCT: *Diabetes Control and Complications Trial*

DM: Diabetes Mellitus

DMCI: Diferencia Mínima Clínicamente Importante

DMG: Diabetes Mellitus Gestacional

DPP: *Diabetes Prevention Programme*

DT1: Diabetes Mellitus Tipo 1

DT2: Diabetes Mellitus Tipo 2

EA: Ejercicio aeróbico

ECAs: Ensayos controlados aleatorizados

EF: Ejercicio de fuerza

ER: Ejercicio de resistencia

FC max: Frecuencia cardíaca máxima

FPG: *Fasting plasma glucose*

GAS: Grasa abdominal subcutánea

GAV: Grasa abdominal visceral

GH: Grasa hepática

HbA1c: Hemoglobina glicosilada

HDL: *High density lipoprotein*

HIIT: *High intensity interval training*

IDF: *International Diabetes Federation*

IFG: *Impaired fasting glucose*

IGT: *Impaired glucose tolerance*

IMC: Índice de masa corporal

IR: *Insulin resistance*

ISI: *Insulin sensitivity index*

JCR: *Journal Citation Reports*

MG: Masa grasa corporal

MM: Masa magra corporal

mph: Metros por hora

NGSP: *National Glycohemoglobin Standarization Program*

NHANES: *National Health and Nutrition Examination Survey*

NR: Subgrupo no respondedor

NS: No significativo

n/d: No determinado

OGTT: *Oral glucose tolerance test*

OMS: Organización Mundial de la Salud

PPM: Pulsaciones por minuto

R: Subgrupo respondedor

RA: Recuperación activa

RCC: Ratio cintura cadera

RM: Repetición máxima

SJR: *SCImago Journal & Country Rank*

SLIM: *Study on lifestyle-intervention and impaired glucose tolerance Maastricht*

VO₂ max: Volumen máximo de oxígeno

WHO: *World health organization*

%G: Porcentaje graso corporal

%M: Porcentaje magro corporal

INDICE:

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
ABREVIATURAS.....	v
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Definición, signos y síntomas. Diabetes Mellitus	1
1.2 Fisiopatología y Etiología. Diabetes Mellitus	2
1.2.1 Tipos de Diabetes:.....	2
1.2.1.1 Diabetes Mellitus Gestacional.....	2
1.2.1.2 Diabetes Tipo Mody	3
1.2.1.3 Diabetes Mellitus Tipo 1	3
1.2.1.4 Diabetes Mellitus Tipo 2	4
1.3 Criterio Diagnóstico de Diabetes.....	6
1.4 Prediabetes	7
1.4.1 Criterio Clasificadorio de Prediabetes	7
1.4.2 Estado actual y progresión de la Prediabetes	9
1.4.3 Tratamiento.....	11
1.5 Justificación	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo principal.....	15
2.2 Objetivos secundarios	15
3. METODOLOGÍA	17
3.1 Estrategia de búsqueda.....	17
3.2 Criterios de inclusión y exclusión	18
3.3 Extracción de los datos	20
3.4 Calidad metodológica.....	20
3.5 Análisis estadístico de los resultados.....	21

4. RESULTADOS	27
4.1 Ensayos seleccionados	27
4.2 Intervenciones.....	28
4.2.1 Disposición, sexo y edad de los participantes.....	28
4.2.2 Tipo de Ejercicio	28
4.2.3 Dieta	34
4.2.4 Duración de la intervención	34
4.2.5 Modos de realización del ejercicio.....	35
4.2.6 Intensidad.....	36
4.2.7 Progresiones.....	37
4.2.8 Duración y frecuencia de las sesiones.....	37
4.2.9 Adherencia y abandono	38
4.3 Variables de medición utilizadas.....	38
4.3.1 Niveles de glucosa en sangre	38
4.3.2 Insulina en sangre	39
4.3.3 Composición Corporal	39
4.3.4 Perfil Lipídico.....	40
4.3.5 HOMA-%IR, HOMA-%B, HOMA-%S y Matsuda Index	40
4.4 RESULTADOS INTERVENCIONES.....	40
4.4.1 Niveles de glucosa en Sangre.	40
4.4.2 Insulina en sangre.	42
4.4.3 Composición Corporal	45
4.4.4 Perfil lipídico.....	49
4.4.5 HOMA-%IR, HOMA-%B, HOMA-%S y Matsuda Index	49
5. DISCUSION.....	53
5.1 Niveles de glucosa en Sangre	53
5.2 Insulina en Sangre, HOMA y Matsuda.	60

5.3 Composición Corporal	62
5.4 Colesterol Total y Triglicéridos	64
5.5 Adherencia	65
7. CONCLUSIONES	69
8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	71
8.1 Introducción	71
8.2 Justificación	72
8.3 Hipótesis	73
8.4 Objetivos de la Intervención	73
8.5 Material y Métodos	74
8.5.1 Diseño de la intervención	74
8.5.2 Selección de participantes	75
8.5.3 Aleatorización, enmascaramiento y cegamiento	75
8.5.4 Variables de medida	76
8.5.5 Prescripción de la intensidad	76
8.5.6 Intervención	77
8.6 Análisis estadístico de los resultados	80
9. AGRADECIMIENTOS	81
10. BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO	89

1. INTRODUCCION

1.1 Definición, signos y síntomas. Diabetes Mellitus

Hasta hace poco la Diabetes Mellitus (DM) era considerada una patología que afectaba solo a la sociedad occidental, sin embargo, en los últimos años se ha extendido al resto del mundo, sobre todo en aquellos países en vías de desarrollo (1). En este sentido, con la llegada de la industrialización mundial y el consiguiente aumento de la obesidad que le ha acompañado, la diabetes se ha ido consolidando como una epidemia global(2).

Esta enfermedad fue descrita por primera vez en Egipto hace unos 3500 años, pero fue en Grecia donde se acuñó el término “Diabetes” del Griego “atravesar”, y “Mellitus” de la palabra latina utilizada para “miel” (en referencia a la eliminación de la glucosa a través de la orina)(2).

La DM es un grupo de enfermedades metabólicas cuya característica principal es la hiperglucemia que ocurre como resultado de afectaciones en la secreción de la insulina (en el caso de la diabetes tipo 1) y/o su acción (en el caso de la diabetes tipo 2) (3). No es una enfermedad como tal, se trata de un síndrome formado por varias enfermedades, nombradas posteriormente, con síntomas parecidos pero diferente origen (1).

Los síntomas de una hiperglucemia establecida son entre otros la poliuria, polidipsia, pérdida de peso, a veces, acompañada de polifagia y visión borrosa. La afectación del crecimiento y un mayor riesgo de adquirir ciertas infecciones también pueden ser síntomas de la hiperglucemia crónica (3).

Además a largo plazo, la hiperglucemia crónica que conlleva la diabetes, puede dañar, causar disfunción y el consiguiente fallo de algunos órganos. Siendo los ojos, los riñones, los nervios, el corazón y los vasos sanguíneos, las estructuras más afectadas (3).

Sus complicaciones incluyen retinopatía con posible pérdida de visión, nefropatía que puede ser causante de fallo renal, neuropatía periférica con riesgo de úlceras, amputaciones y artropatías neuropáticas, y neuropatías autonómicas que lleven a

síntomas gastrointestinales, genitourinarios y cardiovasculares, así como disfunción sexual(3).

1.2 Fisiopatología y Etiología. Diabetes Mellitus

El desarrollo fisiopatológico de la DM abarca desde la destrucción autoinmune de las células beta del páncreas y la reducción de producción de insulina(diabetes tipo 1), hasta alteraciones que resultan en una resistencia de la acción de la insulina (diabetes tipo 2) (3).

Las anomalías metabólicas de los carbohidratos, proteínas y grasas en la diabetes se basan en una acción ineficiente de la insulina en los tejidos diana. Estas son el resultado de una respuesta disminuida de los tejidos a la insulina y/o inadecuada secreción de la misma en uno o varios puntos dentro de sus diferentes vías de acción. Ambos procesos se pueden dar y se dan con frecuencia en un mismo sujeto(3).

Como se ha comentado, la DM es un síndrome formado por varias enfermedades con síntomas parecidos pero etiologías diferentes. Según su etiología podemos distinguir las siguientes; Diabetes Mellitus Tipo 1(DT1), Diabetes Mellitus Tipo 2(DT2), Diabetes Mellitus Gestacional (DMG) y Diabetes Tipo MODY. Además de otros tipos específicos de diabetes con diferente etiología que representan un muy pequeño porcentaje del total (1–3).

1.2.1 Tipos de Diabetes:

1.2.1.1 Diabetes Mellitus Gestacional

La DMG es un tipo de diabetes la cual su inicio o identificación ocurre durante el embarazo. Esta enfermedad se asocia con resultados adversos en el embarazo tales como; macrosomía fetal, mortinatalidad, alteraciones metabólicas neonatales y problemas relacionados (4).

Al contrario que con otros tipos de diabetes, no hay un consenso que establezca el mismo criterio diagnóstico de diabetes gestacional, lo que imposibilita las

comparaciones de prevalencia de este tipo de diabetes en el mundo. La OMS utiliza el mismo método diagnóstico que con la DT2, sin embargo, no existe un consenso respecto a su diagnóstico que sirva como modelo de referencia(4).

Merece la pena destacar que se ha observado que las mujeres a las cuales se les detecta DMG tienen un mayor riesgo de desarrollar DT2 en el futuro (5).

1.2.1.2 Diabetes Tipo Mody

La diabetes Tipo Mody (*Maturity Onset Diabetes of the Young*- traducido como, diabetes de la edad madura que se presenta en el joven) es un grupo de trastornos monogénicos que se caracterizan por un tipo de diabetes no insulínica dependiente de herencia autosómica dominante. Es un tipo muy raro de diabetes (1% de los casos), normalmente se presenta en adolescentes o adultos jóvenes antes de los 25 años y es muchas veces diagnosticada erróneamente como DT1 o DT2 (6).

1.2.1.3 Diabetes Mellitus Tipo 1

La DT1 se da por una destrucción de las células beta del páncreas que lleva a una deficiencia insulínica total (ver características en Tabla 1). En la mayor parte de las ocasiones esta destrucción es producida por una respuesta autoinmune, mientras que en la menor parte de los casos se produce una destrucción idiopática de dichas células. Son denominadas diabetes tipo 1a y tipo 1b, respectivamente (7).

Se trata del tipo más común de diabetes en niños y adolescentes (7). Cabe destacar que sus ratios de incidencia van en aumento, siendo desconocida las causas de este incremento (8). Tanto la genética como los factores ambientales parecen ser contribuyentes aumentando la susceptibilidad a adquirirla (2).

Su tratamiento actual se puede dividir, entre otras, en las siguientes opciones terapéuticas basadas en el tratamiento sintomático: Terapia insulínica mediante administración vitalicia de insulina por vía exógena & Terapia médica nutricional y ejercicio (9).

1.2.1.4 Diabetes Mellitus Tipo 2

La DT2 cursa con un déficit en la síntesis y secreción de insulina derivado de una resistencia a la insulina por parte de los tejidos periféricos (principalmente el músculo, hígado y tejido adiposo) y un consiguiente aumento de los niveles de glucosa en sangre (2). Aproximadamente el 90% de los casos de diabetes a lo largo del mundo corresponden a DT2. Esta enfermedad se manifiesta habitualmente después de los 40 años, observándose con bastante frecuencia también en población adulta menor de 40 años, sobre todo en aquellas con alta prevalencia de obesidad (ver Tabla1)(2).

En los últimos años se está dando una tendencia al alza en el aumento de casos, entre otras cosas favorecido por la edad, y el incremento de situaciones y factores ambientales obesogénicos (2,8). Dentro de estos factores ambientales, especialmente la dieta, la obesidad y la reducción de la realización de ejercicio físico juegan un papel importante en el desarrollo de la DT2 además de otros agentes como los componentes genéticos (2).

La grasa abdominal parece estar muy asociada con el desarrollo de síndromes metabólicos (DT2), en los cuales se producen entre otras cosas absorciones anormales de la glucosa y un metabolismo lipídico alterado, provocado en parte por una resistencia a la acción de la insulina en los músculos esqueléticos, hígado y grasa(2).

Se diferencia de la DT1 entre otras cosas por la edad y forma de manifestación, peso, secreción y resistencia insulínica (ver Tabla 1)(10).

El abordaje farmacológico dependerá del tipo de paciente y la etiología de su diabetes, siendo la metformina el fármaco antidiabético más utilizado (11).

Al tratarse de una enfermedad causada por un problema en el estilo de vida, la intervención en él, resulta una pieza clave dentro del abordaje no farmacológico.

Este abordaje incluye recomendaciones nutricionales y finalizar con el estilo de vida sedentario mediante la realización de ejercicio físico (11).

Tabla 1. Criterio Diagnóstico diferencial para la diabetes Tipo 1 y Tipo 2 (información obtenida de Kerner *et al.*(10)2014)

	Type 1 Diabetes*	Type 2 Diabetes
Manifestation age	Mostly children, adolescents and young adults	Mostly middle and old age
Onset	Acute to subacute	Usually gradual
Symptoms	Frequently polyuria, polydipsia, weight loss, fatigue	Frequently no complaints
Body weight	Usually normal	Usually overweight
Predisposition to ketosis	Pronounced	None or only slight
Insulin secretion	Reduced or none	Below normal to high, qualitatively always impaired
Insulin resistance	None (or only low)	Often pronounced
Frequency in patient's family history	Usually negative	Typically positive
Concordance with identical twins	30 to 50 %	Over 50 %
Heredity	Multifactorial (polygenetic)	Multifactorial (most likely polygenetic, but genetic heterogeneity is possible)
Associated with HLA (leukocyte antigen) system	Present	Not present
Antibodies associated with diabetes	Approx. 90-95 % at onset (GAD, ICA, IA-2, IAA)	None
Metabolism	Unstable	Stable
Response to insulin secretion stimulating antidiabetics	Usually none	Usually good at first
Insulin therapy	Required	Usually not required until insulin secretion has decreased after years of disease

Entre los diferentes tipos de ejercicios utilizados para el tratamiento no farmacológico en la DT2 se encuentran:

- El ejercicio aeróbico (EA): se basa en un movimiento continuo y rítmico de grandes grupos musculares, está demostrado que mediante él se mejora la HbA1c así como se da una pérdida de peso y se consigue una mejor regulación del metabolismo lipídico y proteico en pacientes con DT2 (12).
- El ejercicio de resistencia (ER) o ejercicio de fuerza (EF): involucra movimientos utilizando peso libre, maquinas con peso, ejercicios con el peso corporal o bandas elásticas. Varios estudios abalan esta forma de ejercicio como plan de entrenamiento para el manejo de la DT2 al observarse una mejora en el control glucémico y la sensibilidad a la insulina, así como ganancia de masa muscular, estrechamente relacionada con las anteriores (12).
- La combinación de ambos ejercicios está recomendada por las pautas de la Asociación Americana de Diabetes o ADA (por sus siglas en inglés, *American Diabetes Association*) como la mejor manera de control mediante ejercicio físico de la glucosa y lípidos en pacientes con DT2. Varios estudios han confirmado la obtención de mejores resultados mediante la utilización de este método frente a ER y EA solos, así como

otros que presentan resultados no concluyentes en sus diferencias, aunque si en su utilidad. Aún es necesario más estudio acerca de este tema (12).

-El ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés "*High-intensity interval training*"), consiste en sesiones en las cuales se realizan series de máximo esfuerzo durante cortos periodos de tiempo (30 segundos) con periodos de descanso de entre 30 segundos y un minuto o recuperación activa.

El HIIT ha demostrado ser capaz de aumentar la capacidad oxidativa del musculo esquelético, la sensibilidad a la insulina y el control glucémico en pacientes con DT2. Parece tener mejores efectos en la regulación de la glucosa y la resistencia a la insulina que el EA. Para aquellos pacientes con DT2 que puedan tolerarlo, el HIIT puede ser una alternativa más eficaz que el EA (12).

1.3 Criterio Diagnóstico de Diabetes

A día de hoy se usan tres test para diagnosticar la DM: Test A1C, FPG y el OGTT. El test A1C o prueba de hemoglobina glicosilada (HbA1c) mide el nivel promedio de glucosa en sangre en los últimos dos a tres meses. El resultado se da a través de un porcentaje, un resultado mayor o igual al 6,5% es indicativo de diabetes.

El test ha de ser realizado en un laboratorio usando el método que la NGSP (*National Glycohemoglobin Standardization Program*) ha certificado y estandarizado en base al ensayo DCCT (*Diabetes Control and Complications Trial*).

Este test presenta ventajas como una mayor comodidad, al no estar requerido el ayuno, mayor estabilidad preanalítica con menores perturbaciones día a día en periodos de enfermedad, por el contrario, tiene un mayor coste (3).

EL FPG o *Fasting Plasma Glucose* (en español, Glucosa Plasmática en Ayunas) es un test que evalúa el nivel de glucosa en sangre en ayunas durante 8 horas antes del test.

El diagnóstico de diabetes se realiza cuando el nivel de glucosa sanguíneo en ayunas es mayor o igual a 126 mg/dl (7.0 mmol/l)(3).

El OGTT u *Oral Glucose Tolerance Test* (en Español, Test de Tolerancia Oral a la Glucosa) evalúa el nivel de glucosa sanguíneo antes y después de dos horas tras la toma de una bebida azucarada. Conforme a la Organización Mundial de la salud (OMS), el test ha de ser realizado utilizando una carga de glucosa que contenga el equivalente a 75g de glucosa anhidra disuelta en agua.

Un resultado en las dos horas mayor o igual a 200 mg/dl (11,1 mmol/l) es diagnóstico de diabetes (3).

1.4 Prediabetes

1.4.1 Criterio Clasificador de Prediabetes

A finales del siglo pasado y comienzos de este el Comité Experto en Diagnóstico y Clasificación de Diabetes Mellitus advirtió un grupo de individuos que se encontraba en un término medio entre la diabetes y la normalidad, ya que su nivel de glucosa en sangre no cumplía el criterio para ser diagnosticados como diabéticos pero en cambio, era superior al de los sujetos considerados como normales (13,14).

Estas personas han sido calificadas como sujetos con Glucosa en Ayunas Alterada o IFG (por sus siglas en inglés, *Impaired Fasting Glucose*) con niveles de glucosa sanguíneo en ayunas entre 100 mg/dl (5,6 mmol) y 125 mg/dl (6,9 mmol/l) o sujetos con Tolerancia a la Glucosa Alterada o IGT (por sus siglas en inglés, *Impaired Glucose Tolerance*) con niveles en la prueba de OGTT de entre 140 mg/dl (7,8 mmol/l) y 199 mg/dl (11,0 mmol/l)(3).

Estos valores son dados por la ADA, la OMS aún mantiene en la definición de IFG entre 110 mg/dl (6,1 mmol) y 125 mg/dl (6,9 mmol/l)(3).

Las personas que presentan IFG y/o IGT se les suele denominar sujetos con prediabetes, como indicador del riesgo relativamente alto de desarrollar diabetes en un futuro. La IFG, IGT y por tanto la prediabetes no deberían verse por sí mismas como entidades clínicas sino como factores de riesgo de diabetes (3).

Al no ser considerada la prediabetes una enfermedad como tal, tanto la IFG, como la IGT o la combinación de ambos, se consideran diferentes fenotipos de la prediabetes.

En cuanto a los valores del porcentaje del test A1C para clasificar a estos sujetos en riesgo de diabetes, también se dan diferentes valores. La NHANES, por sus siglas en inglés, *National Health and Nutrition Examination Survey*, indica que el valor más preciso para identificar a las personas con IFG o IGT es de entre 5,5 y 6,0%. Por el contrario, la ADA, determina un rango de entre 5,7 a 6,4% para identificar a los individuos que se encuentran en riesgo alto de desarrollar diabetes y a los cuales el término prediabetes hace referencia (3).

Tabla 2. Criterio Diagnóstico para Prediabetes (información obtenida de Tabák *et al.* (15)) (WHO: World Health Organization/ADA: American Diabetes Association)

Authority, year	Venous plasma
WHO 1965	Postload: ~7.1–8.2mmol/L
WHO 1980	Fasting: <8.0mmol/L and 2-h postload: ≥8.0 and <11.0mmol/L
WHO 1985	Fasting: <7.8mmol/L and 2-h postload: ≥7.8 and <11.1mmol/L
WHO 1999 & 2006 (most recent)	<u>IGT</u> Fasting: <7.0mmol/L and 2-h postload: ≥7.8mmol/L and <11.1mmol/L <u>IFG</u> Fasting: ≥6.1 and <7.0mmol/L and 2-h postload: <7.8mmol/L (if measured) (2-h postload glucose measurement recommended to exclude diabetes or IGT).
ADA 1997	<u>IGT</u> Fasting: <7.0mmol/L and 2-h postload: ≥7.8mmol/L and <11.1mmol/L <u>IFG</u> Fasting: 6.1 – 6.9mmol/L
ADA 2003	<u>IGT</u> Fasting: <7.0mmol/L and 2-h postload: 7.8 – 11.0mmol/L (if measured) <u>IFG</u> Fasting: 5.6 – 6.9mmol/L (measurement of 2-h postload glucose not recommended)
ADA 2010 (most recent)	<u>IGT</u> Fasting: <7.0mmol/L and 2-h postload: 7.8 – 11.0mmol/L <u>IFG</u> Fasting: 5.6 – 6.9mmol/L (measurement of 2-h postload glucose not recommended) <u>HbA1c</u> (a new category of high risk for diabetes): 5.7 – 6.4%

1.4.2 Estado actual y progresión de la Prediabetes

El término prediabetes ha sido criticado por muchos debido a que no todos los sujetos con prediabetes progresan a diabetes, y de que este término podría significar que no se necesitase de una intervención al no haber presencia de enfermedad alguna.

Pese a que en mayor o menor medida haya un consenso acerca de que valores son diagnósticos de prediabetes, no hay tal consenso en relación a los protocolos de actuación y cribado para atajar el problema entre las diferentes organizaciones mundiales. Mientras que la ADA y la *Canadian Diabetes Association* abogan por realizar un cribado mediante el test en ayunas y/o el HbA1c a los 45 y 40 años respectivamente. Las recomendaciones Europeas sugieren realizar dichos cribados solo en sujetos con la suma de otros factores de riesgo de diabetes (16).

Cabe destacar que el riesgo de desarrollar diabetes no difiere necesariamente entre las personas con prediabetes y aquellas con la suma de otros factores de riesgo de diabetes, aunque el valor predictivo de la prediabetes es mejor (15).

Al igual que con la diabetes, el rápido aumento en la población de los países desarrollados y en vías de desarrollo de los niveles de glucosa en sangre, ha resultado en un aumento de la prevalencia de prediabetes (17).

La NHANES mediante un estudio de la HbA1c y la glucosa en ayunas, recogió que de 2005 a 2008 en la población adulta estadounidense mayor de 20 y 65 años había una prevalencia de prediabetes del 35 y 50%, respectivamente (15). La prevalencia de IGT e IFG difiere entre grupos étnicos y ambas condiciones se dan más en personas mayores. Hay mayor prevalencia de IFG en hombres que en mujeres aunque se desconoce las causas (18).

La previsión a 20 años realizada por la *International Diabetes Federation* (IDF) respecto a la prevalencia de IGT realizada en 2010 indica un incremento a 472 millones de personas con IGT en 2030 (ver Figura 1).

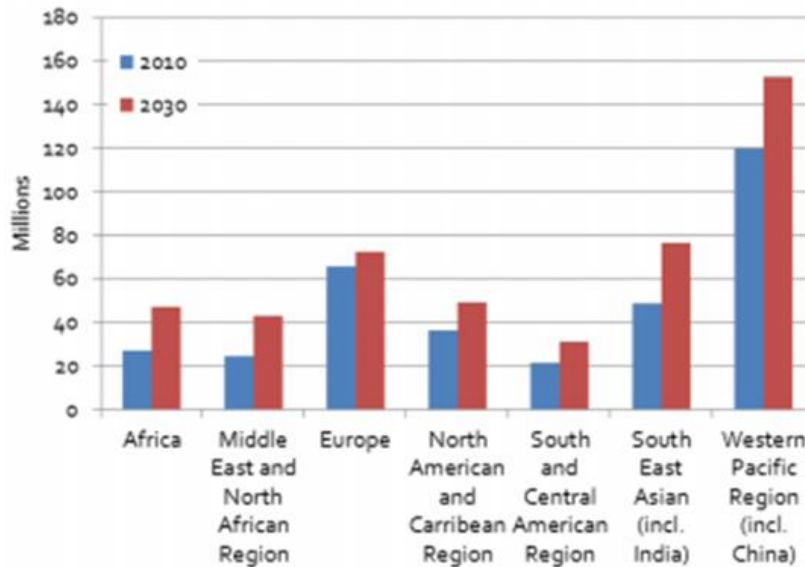


Figura 1. Prevalencia de IGT (información obtenida de Tabák *et al.*(15))

La ADA estima que alrededor del 70% de la población con prediabetes desarrollará diabetes a lo largo de su vida. Por el contrario, de la misma manera que la prediabetes puede progresar a diabetes también puede volver a un estado de normoglucemia (15).

El desarrollo de un estado de normoglucemia a la diabetes es un proceso continuo. En el desarrollo de ésta se observa como el incremento de los valores de glucosa y la disminución de la sensibilidad y secreción de insulina comienzan ya hasta 13 años antes del diagnóstico. Pero, tal y como demuestran varios estudios, es alrededor de los 2 a 6 años antes del diagnóstico cuando se da un incremento considerable en estos niveles (19–21). Esto concuerda con la idea de que la disminución de la función de las células beta ya está presente durante la prediabetes y que la resistencia a la insulina comienza años antes del inicio de la diabetes (15).

Las personas con prediabetes pueden presentar daños en órganos propios de la diabetes como, los riñones, ojos, vasos sanguíneos y el corazón. Y por tanto complicaciones, estados menores y riesgo de desarrollo de: nefropatías, enfermedad renal crónica, neuropatías y retinopatías diabéticas, y enfermedades macrovasculares (15).

La prediabetes está asociada a la obesidad, sobre todo a la abdominal y visceral, así como a la dislipidemia con valores altos de triglicéridos y/o bajos del colesterol HDL (por sus siglas en inglés "*High density lipoprotein*") e hipertensión.

La Intervención en el estilo de vida con el objetivo de aumentar la actividad física y reducir entre un cinco y un diez por ciento el peso corporal, así como el uso de fármacos han demostrado retrasar o prevenir el desarrollo de la diabetes en personas con tolerancia a la glucosa alterada (3).

1.4.3 Tratamiento

Al igual que en la diabetes, hay diferentes maneras de abordar la prediabetes. El tratamiento farmacológico es una de las opciones con numerosos fármacos tanto antidiabéticos como no antidiabéticos (15).

Otra de las opciones es la intervención en el estilo de vida, que como se ha comentado es el principal causante que lleva a la prediabetes, esta intervención engloba tanto prevenir el sedentarismo, como unos hábitos nutricionales saludables.

Varios estudios han llevado a cabo en sujetos prediabéticos intervenciones con el fin de modificar estos factores consiguiendo resultados muy prometedores.

El Finnish Diabetes Prevention Study (22), el DPP (por sus siglas en inglés "*Diabetes Prevention Programme*") (23), el Da Qing (24) o el SLIM (por sus siglas en inglés "*Study on lifestyle-intervention and impaired glucose tolerance Maastricht*") (25), son entre otros (26–34), importantes estudios de varios años de duración que han llevado a cabo este tipo de intervenciones en todo tipo de sujetos prediabéticos.

Este tipo de intervenciones han evidenciado repetidamente que la DT2 se puede prevenir mediante modificaciones en el estilo de vida, así como han remarcado la importancia de la dieta para reducir el riesgo de adquirir diabetes (35).

1.5 Justificación

Como se ha comentado anteriormente, hay suficiente evidencia acerca de que las intervenciones en el estilo de vida son un buen método de tratamiento para la prevención de la DT2 o incluso la reversión a normoglucemia.

Sin embargo, este tipo de estudios de larga duración se basan en recomendaciones, instrucciones o cursillos, en definitiva, el ejercicio que los sujetos participantes realizan en los estudios se da sin la supervisión de ningún especialista. Además de que ninguno de ellos es realizado con la finalidad de comparar los diferentes tipos de ejercicio entre sí.

Por ello, y con la intención de conocer la información publicada en la bibliografía acerca de los diferentes tipos de ejercicio realizados bajo supervisión en los sujetos prediabéticos, así como el efecto y utilidad que ese ejercicio tuvo, se realizó una búsqueda en las bases de datos Pubmed y Cochrane (ver en el diagrama de flujo, Figura 2).

Tras descartar tanto duplicados como artículos sin relación, se encontraron varias revisiones que evaluaban las intervenciones en el estilo de vida comentadas anteriormente. Todas ellas, tienen en común que sus artículos en estudio, no son supervisados o al menos no lo son en el periodo completo de intervención, diferenciándose entre sí en las distintas variables que analizan (35–40).

Sin embargo, Hrubeniuk *et al.*(41), sí que llevo a cabo una búsqueda de ejercicios supervisados. En su búsqueda inicial realizó la búsqueda con un único criterio de inclusión para la prediabetes, el de IGT. Además en su búsqueda inicial pretendía incluir ensayos controlados aleatorizados (ECAs), sin embargo, solo obtuvo dos artículos que cumpliesen sus criterios de inclusión y decidió quitar el criterio de randomización. Por su parte, esta revisión excluía entre otras cosas todos aquellos artículos con cualquier tipo de dieta, consejo, etc.

De Nardi *et al.*(42), comparaba el HIIT con el EA, tanto en prediabéticos como diabéticos. Así como la revisión recoge muchos estudios realizados en sujetos con DT2, solo obtuvo dos artículos realizados en prediabéticos, sin llegar a conclusiones.

Una vez siendo conscientes del estado actual de los diferentes tipos de ejercicio en la prediabetes, se pueden advertir una falta de investigación en lo referente a ellos en los sujetos que padecen esta condición. Además aquellas recopilaciones de información que sí que intentan distinguir entre los diferentes tipos de ejercicios se encuentran limitados bien en la cantidad de artículos que recogen como es el caso de De Nardi *et al.*(42), o por no incluir todos los fenotipos de prediabetes(41).

Por ello el objetivo de este estudio es realizar una revisión bibliográfica recopilando aquellos estudios que realicen cualquier tipo de ejercicio completamente supervisado sin descartar ningún fenotipo de prediabetes, asegurando una mayor calidad mediante la inclusión de ECAs y otros criterios de calidad comentados más adelante. De esta manera, en último término, el objetivo de la presente revisión consistirá en poder recomendar el mejor modelo de tratamiento físico para sujetos que presenten prediabetes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

Analizar el efecto del ejercicio supervisado en sujetos con prediabetes y, en base a los resultados de los estudios de esta revisión, recomendar un programa de ejercicio que sirva como método de tratamiento óptimo para sujetos con esta condición.

2.2 Objetivos secundarios

1. Analizar los diferentes tipos de ejercicio y su influencia en los niveles de glucosa en sangre en sujetos con prediabetes.
2. Estudiar la influencia de los diferentes tipos de ejercicio en las distintas variables que se ven moduladas en sujetos con prediabetes.
3. Clasificar los tipos de ejercicio físico utilizados como tratamiento en sujetos prediabéticos.
4. Determinar qué frecuencia de tratamiento obtiene mejores resultados en los niveles de glucosa en sangre en sujetos con prediabetes.
5. Analizar los diferentes tipos de ejercicio y su influencia en la composición corporal, con el fin de observar las capacidades que estos ejercicios tienen para mejorar la funcionalidad y calidad de vida en los sujetos prediabéticos.
6. Estudiar la adherencia de los diferentes tipos de ejercicio en sujetos prediabéticos.
7. Analizar la influencia de la dieta en los programas de ejercicio físico de sujetos con prediabetes.

3. METODOLOGÍA

3.1 Estrategia de búsqueda

Como se ha comentado anteriormente, la presente revisión bibliográfica se realizó mediante una lectura de las revisiones sistemáticas publicadas para conocer el estado actual del tema. Esto fue realizado mediante una búsqueda en la biblioteca Cochrane y Pubmed con su filtro “revisiones sistemáticas”. Estas búsquedas quedan reflejadas tanto en el diagrama de flujo (Figura 2) como en el apartado resultados.

Una vez analizada la bibliografía actual y tras establecer los objetivos, se procedió a realizar la búsqueda de los artículos para poder llevar a cabo la presente revisión bibliográfica. Para ello se utilizaron los buscadores Pubmed y PEDro. Debido al gran número de artículos que aparecieron en estos buscadores, no se consideró necesario utilizar otro tipo de bases de datos. Esta búsqueda fue realizada entre el 7 de Abril y el 26 de Junio de 2021, los artículos publicados con posterioridad al 7 de Abril no aparecen en esta revisión. La búsqueda de información abarca el periodo comprendido entre 2005 y el 7 de Abril de 2021. Otras fuentes de información como libros y revistas científicas fueron utilizadas para la realización de la Introducción.

En base a los objetivos de la revisión y a las características del buscador se realizaron 4 búsquedas con las siguientes palabras claves:

-prediabetes exercise OR impaired fasting glucose exercise OR impaired glucose tolerance exercise (Pubmed, 557 artículos): filtro “clinical trial”

-prediabetes exercise (PEDro, 42 artículos)

-impaired fasting glucose exercise (PEDro, 37 artículos)

-impaired glucose tolerance exercise (PEDro, 74 artículos)

Una vez la búsqueda fue realizada en la base de datos, se excluyeron de la lectura todos los artículos duplicados. Se realizó la lectura completa de todos los resúmenes de los artículos restantes. Aquellos artículos seleccionados como relevantes para el estudio por cumplir *a priori* los criterios de inclusión fueron sometidos a una valoración para asegurar su importancia y fiabilidad mediante las

herramientas de análisis de factor de impacto (SJR, JCR) y calidad del ensayo clínico (PEDro).

El proceso de búsqueda de los artículos queda reflejado más adelante en el diagrama de flujo (Figura 2).

3.2 Criterios de inclusión y exclusión

Tanto los criterios de inclusión como los de exclusión fueron creados en base a las revisiones previas en estudios de índole similar, y aspectos que dichas revisiones no abarcan que han sido considerados como relevantes.

Criterios de inclusión:

- Se incluyeron solo ensayos clínicos controlados aleatorizados
- Los sujetos debían de cumplir al menos uno de los criterios diagnósticos de prediabetes establecidos por la ADA y/o la OMS: HbA1c(5,7%-6,4:ambos), glucosa plasmática en ayunas(100mg/dl[5,6mmol]-125mg/dl[6,9mmol/l]:ADA) o (110mg/dl[6,1mmol]-125mg/dl[6,9mmol/l]:OMS), test de tolerancia oral a la glucosa(140 mg/dl[7,8mmol/l]-199 mg/dl[11,0mmol/l]:ambos).
- Los grupos de estudio no podían presentar dietas diferentes, solo fueron incluidos estudios sin dietas o aquellos en los que a todos los grupos se les proporcionaba el mismo tipo de dieta, aliento, recomendación o curso.
- Se incluyeron artículos posteriores al año 2004(no incluido).
- Los ensayos debían estar publicados en una revista cuyo factor de impacto estuviera en Q1 o Q2 tanto en SJR como en JCR, así como un valor en la escala PEDro \geq a 5.
- Se admitieron estudios en los cuales los pacientes presentaban otro tipo de patología.
- Se incluyeron solo artículos con una duración de la intervención superior o igual a una semana.

Criterios de exclusión:

- Fueron excluidos aquellos artículos sin supervisión completa a lo largo de toda la intervención, y artículos denominados como “lifestyle intervention” en los cuales el ejercicio era una recomendación o era realizado bajo regulación propia del sujeto.
- Artículos que no midan ninguna variable metabólica o de composición corporal quedaron descartados.
- Aquellos artículos que no estuviesen publicados en inglés o español fueron excluidos.
- Artículos anteriores al año 2004 (incluido) quedaron descartados.
- Aquellos artículos que estuviesen publicados en una revista cuyo factor de impacto fuese \leq a Q3, así como un valor en la escala PEDro $<$ a 5, quedaron descartados.
- Fueron excluidos estudios con intervenciones menores a una semana de tratamiento.

Dos artículos fueron incluidos sin cumplir estos criterios debido a la relevancia e interés de sus investigaciones.

Uno de ellos no cumplía el criterio de prediabetes por utilizar como criterio de inclusión un valor de 130-199mg/dl en vez de 140-199 mg/dl en el test de tolerancia oral de la glucosa a las 2h, fue utilizado por ser el único artículo que estudiaba el ejercicio en niños, además de la evidencia de que los valores en un rango de 120-140 también tienen efectos similares al de niños prediabéticos tanto en la acción de la insulina como de la función de las células beta. El artículo cumplía todos los demás criterios de inclusión(43).

El segundo estudio fue seleccionado sin cumplir el criterio de ensayo clínico controlado aleatorizado, al no ser aleatorizado. Este fue incluido y se consideró como relevante por ser el único que cumplía los demás criterios de inclusión y además analizase las diferencias entre un ejercicio con dieta de restricción frente a

solo la dieta, además de ser el ensayo con una intensidad de tratamiento más alta (44).

3.3 Extracción de los datos

Los siguientes datos fueron extraídos de los artículos; título, autor, número de participantes en los grupos relevantes, edad, sexo, tipo de ejercicio, protocolo e intensidad, duraciones de las sesiones e intervención, dietas, adherencia al tratamiento y progresión. Estos datos junto a sus resultados y conclusiones han servido como base para realizar la discusión y propuesta de intervención presentada más adelante.

En aquellos artículos que presenten información adicional u otros tipos de grupos no relevantes para el estudio como grupos en los que se valore medicamentos, terapias alternativas u otros tipos de patologías, se seleccionaran solo aquellos grupos relevantes para nuestra comparación.

Las variables medidas en estos artículos han sido dadas mediante medias, desviaciones típicas y el p valor para conocer la significación de los resultados.

3.4 Calidad metodológica

Como se ha comentado anteriormente, para asegurar la calidad del análisis de esta revisión, se ha utilizado la escala de la base de datos de Fisioterapia basada en la evidencia PEDro. Esta escala consta de 11 criterios, el primero, se obvia al ser un criterio de elegibilidad. Por lo tanto, cada ensayo puede obtener una puntuación máxima de 10 puntos, al sumarse un punto por cada criterio cumplido. Una puntuación mínima de 5 puntos sobre 10 en la escala fue requerida para asegurar que los resultados son válidos e interpretables, ya que tres de los criterios (cegamientos) resultan muy complicados de cumplir en intervenciones con ejercicio. Más adelante, en la Tabla 3, se muestran los criterios de la escala PEDro que cumple cada artículo seleccionado. En el Anexo, se incluye una explicación de estos criterios, ver Figura 25.

Con el fin de evaluar la relevancia del artículo y la calidad de las revistas en las cuales los ensayos fueron publicados se utilizó las bases de datos *Journal Citation Reports* (JCR) y *SCImago Journal & Country Rank* (SJR), las cuales miden el factor de impacto y establecen un ranking con cuatro grupos (cuartiles) dentro de ese ranking. Este factor de impacto indica la cantidad de veces que un artículo ha sido mencionado en otros. Se consideró que aquellos artículos que estuvieran en cuartiles menores al Q2 sin incluir este fueran excluidos. Más adelante, en la Tabla 4 se muestra el factor de impacto de cada artículo tanto en SJR como en JCR.

3.5 Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis de los resultados, se utilizó un p valor $< 0,05$. Un valor así nos indica que los resultados son significativos, es decir que el tratamiento tuvo un efecto no dado por azar, bien negativo o positivo. Un p valor diferente fue recogido tanto para analizar las diferencias entre un pre y post intervención, como las diferencias con el grupo control o entre dos tipos de tratamientos diferentes.

Diagrama de flujo (Selección de artículos)

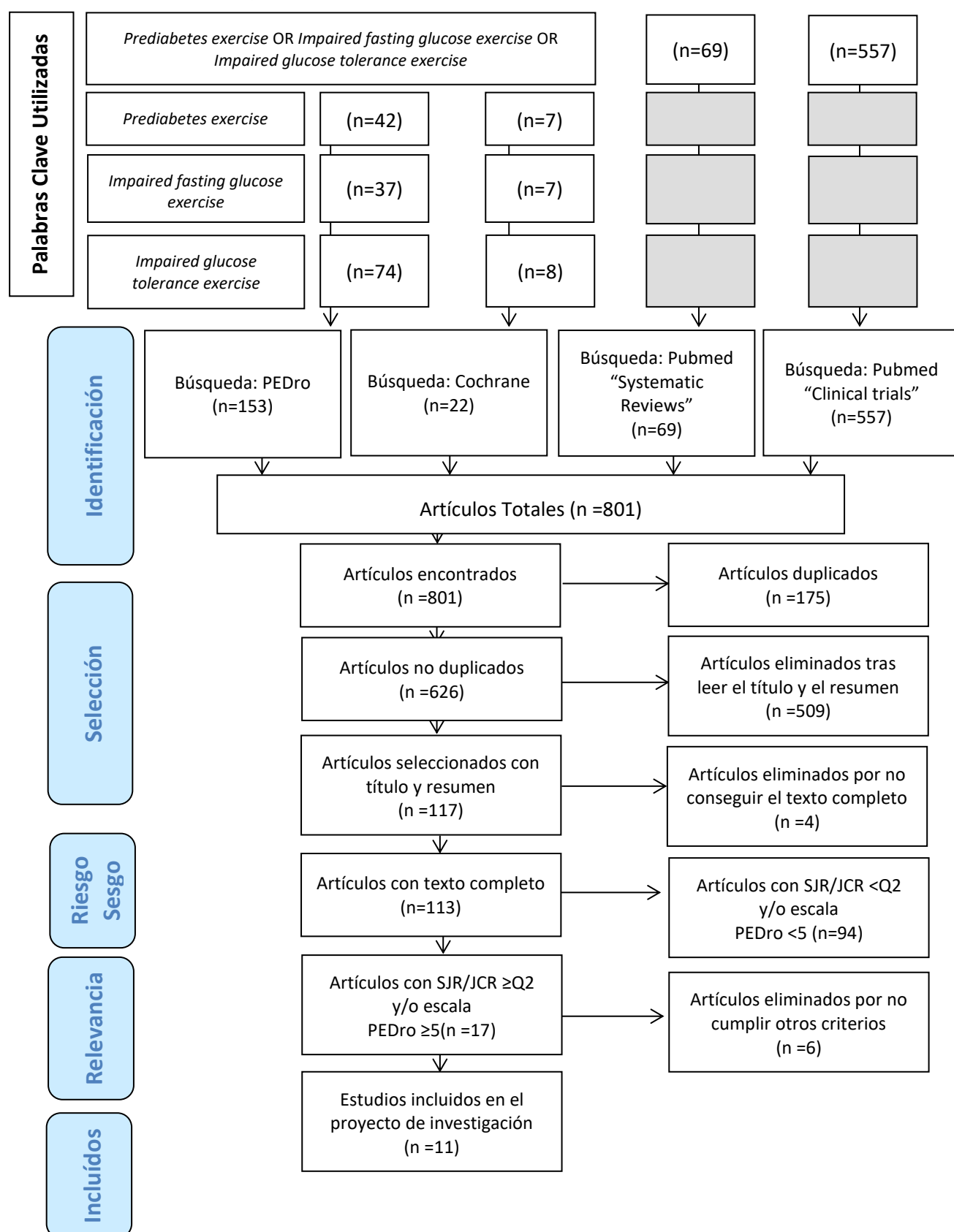


Figura 2. Diagrama de flujo en el cual se detalla el proceso de búsqueda para la realización de la presente revisión (Elaboración propia).

Tabla 3. Escala PEDro. Aquellos criterios que si son cumplidos se muestran en verde, aquellos que no, en rojo. La suma total se da al final en la columna de color azul (Elaboración propia).

Ensayo	CRITERIOS ESCALA PEDRO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Liu <i>et al.</i> (2020)(45)											7/10
Rowan <i>et al.</i> (2017)(46)											5/10
Cheng <i>et al.</i> (2017)(47)											6/10
Gilbertson <i>et al</i> (2018)(48)											7/10
Eikenberg <i>et al.</i> (2016)(49)											6/10
Ryan <i>et al.</i> (2012)(44)											5/10
Gilbertson <i>et al.</i> (2019)(50)											5/10
Yuan <i>et al.</i> (2020)(51)											6/10
Alvarez <i>et al.</i> (2019)(52)											5/10
Savoye <i>et al.</i> (2014)(43)											7/10
Marcus <i>et al.</i> (2009)(53)											5/10

Tabla 4. Factor de impacto de las revistas de los estudios seleccionados, tanto en JCR, como SJR (Elaboración propia).

Autor <i>et al.</i> (año)	Revista	Journal Citation Reports (JCR)			SCImago Journal & Country Rank (SJR)		
		Factor impacto	Categoría	Posición en categoría	Factor impacto	Categoría	Posición en categoría
Liu <i>et al.</i> 2020(45)	Cell Metabolism	21,567	Endocrinology & Metabolism	3/143 Q1	10,326	Physiology	4/178 Q1
Rowan <i>et al.</i> 2017(46)	Medicine & Science in Sports & Exercise	4,291	Sport Sciences	7/81 Q1	2,073	Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation	5/207 Q1
Cheng <i>et al.</i> 2017(47)	Scientific Reports	4,122	Multidisciplinary Sciences	12/64 Q1	1,533	Multidisciplinary	6/139 Q1
Gilbertson <i>et al.</i> 2018(48)	Medicine & Science in Sports & Exercise	4,478	Sport Sciences	6/83 Q1	2,071	Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation	5/214 Q1
Eikenberg <i>et al.</i> 2016(49)	PLoS ONE	2,806	Multidisciplinary Sciences	15/64 Q1	1,236	Multidisciplinary	7/137 Q1
Ryan <i>et al.</i> 2012(44)	American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism	4,686	Physiology	N/D	2,470	Physiology(medical)	7/98 Q1

Tabla 4. Factor de impacto de las revistas de los estudios seleccionados, tanto en JCR, como SJR (Elaboración propia). (Continuación)

Autor <i>et al.</i> (año)	Revista	Journal Citation Reports (JCR)			SCImago Journal & Country Rank (SJR)		
		Factor impacto	Categoría	Posición en categoría	Factor impacto	Categoría	Posición en categoría
Gilbertson <i>et al.</i> 2019(50)	European Journal of Applied Physiology	2,58	Sport Science	28/85 Q2	1,134	Sports Science	30/125 Q1
Yuan <i>et al.</i> 2020(51)	Journal of Diabetes	3,28	Endocrinology & Metabolism	66/143 Q2	0,949	Endocrinology, Diabetes and Metabolism	79/232 Q2
Alvarez <i>et al.</i> 2019(52)	Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports	3,255	Sport Sciences	14/85 Q1	1,373	Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation	10/213 Q1
Savoye <i>et al.</i> 2014(43)	Diabetes Care	8,42	Endocrinology & Metabolism	7/128 Q1	5,090	Endocrinology, Diabetes and Metabolism	3/242 Q1
Marcus <i>et al.</i> 2009(53)	Journal of Women's Health	1,77	Public, Environmental & Occupational health	57/121 Q2	0,935	Medicine (miscellaneous)	527/2913 Q1

4. RESULTADOS

4.1 Ensayos seleccionados

En relación al análisis previo de la literatura para la posterior realización de la presente revisión bibliográfica, un total de 69 revisiones sistemáticas, tras el descarte de 22 duplicadas, aparecieron en la búsqueda. Previamente, en la justificación de esta revisión, han sido descritas brevemente aquellas consideradas como relevantes para conocer el estado actual del tema.

Tras realizar la búsqueda en los buscadores Pubmed y PEDro mediante las palabras claves descritas anteriormente, aparecieron un total de 710 artículos, de los cuales 153 artículos fueron duplicados. Una vez realizada la lectura de los resúmenes de los 557 artículos restantes, 117 fueron seleccionados como relevantes para la investigación.

De ellos y tras analizar cuales cumplían con los criterios de PEDro y SJR/JCR, 17 artículos fueron seleccionados. Estos 17 artículos estaban formados por 16 ensayos clínicos ya que 1 de ellos publicó dos artículos con diferentes variables medidas.

De los 16 ensayos, 5 fueron excluidos por no cumplir los criterios de elegibilidad referentes a la duración mínima de la intervención, al ser estudios que analizaban la acción de una sola sesión de ejercicio y, por tanto, no superaban el mínimo establecido en una semana de intervención.

El análisis de los resultados, así como la discusión y el desarrollo de las conclusiones se realizaron con 11 estudios de los cuales 10 fueron ensayos clínicos controlados aleatorizados y uno ensayo clínico controlado no aleatorizado, como se ha comentado anteriormente. Los 11 ensayos fueron publicados entre 2009 y 2020 (ver en el diagrama de flujo en la Figura 2).

4.2 Intervenciones

4.2.1 Disposición, sexo y edad de los participantes.

La media de participación en cada grupo de estudio fue de 29,25 participantes, sin embargo el rango varió para los participantes de los grupos intervención entre 10 (46,53) y 83 (51). En total 702 sujetos participaron en los estudios.

En relación a la cantidad de grupos por estudio, ocho ensayos presentaron dos grupos de estudio; cuatro 1 grupo control y 1 grupo ejercicio (43–45,53), uno 1 grupo control y 1 grupo suma de ejercicios (52), tres 2 grupos ejercicio (46,48,50).

Un ensayo realizó su investigación con cuatro grupos (47), sin embargo, solo se recogió los resultados de dos de sus grupos por no ser los demás, relevantes para esta revisión al incluir medicación y dieta. Los dos grupos fueron 1 grupo control y 1 grupo ejercicio.

Dos ensayos realizaron su investigación con tres grupos, uno de ellos con los tres fenotipos de prediabetes (49), el otro con 1 grupo control y 2 grupos ejercicio (51).

Ocho de los once estudios incluían en sus grupos tanto hombres como mujeres, un estudio incluyó solo hombres (45) y tres solo mujeres (44,52,53).

Las edades medias de los participantes comprendían desde los 12,9 hasta los 65 años, pero la media total fue de 52,98 años de edad. Diez de los once ensayos comprendían en un rango de edad de 40-65 años, mientras que solo uno se realizó en <16 (10-16) años (43).

4.2.2 Tipo de Ejercicio

Ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT): Cuatro estudios contenían un grupo al cual se le realizó una intervención con HIIT. Solo Liu *et al.*(45) realizó únicamente HIIT comparándolo con un grupo control. Los otros tres estudios compararon la realización de HIIT frente a la realización de ejercicio aeróbico (46,48,50). Por su parte, Rowan *et al.*(46) comparaba HIIT con EA pero añadía ejercicio de fuerza en ambos grupos dos veces a la semana.

Ejercicio aeróbico(EA): Siete estudios incluyen ejercicio aeróbico como método de tratamiento, de ellos solo Cheng *et al.*(47) y Ryan *et al.*(44) lo realizan como único tipo de ejercicio incluido en el estudio, Cheng *et al.*(47) compara un grupo control con uno con ejercicio aeróbico, y Ryan *et al.*(44) compara un grupo con restricción calórica y otro con la misma restricción calórica y ejercicio aeróbico.

De los cinco restantes, tres son los comentados anteriormente que se comparan con HIIT (46,48,50).

Dos utilizan ejercicio aeróbico junto a fuerza(46,52). Yuan *et al.*(51), compara el ejercicio de fuerza con ejercicio aeróbico con un grupo control.

Ejercicio de fuerza: De los 11 estudios en análisis, cinco contenían ejercicios de fuerza, tres de ellos han sido comentados arriba (46,51,52). Los otros dos Eikenberg *et al.*(49) y Marcus *et al.*(53), no comparaban o añadían ejercicios de fuerza con otros tipos de ejercicios como los anteriores. Eikenberg *et al.*(49) analizaba el mismo tipo de ejercicio de fuerza en los distintos tipos de fenotipos prediabéticos, y Marcus *et al.*(53) comparaba un tipo de ejercicio de fuerza con un grupo control.

Otros: Uno de los once ensayos, Savoye *et al.*(43), realizó ejercicios para niños clasificados como ejercicios de alta intensidad. Además, incluyó una vez al mes actividades como artes marciales, zumba o el uso de “Just Dance”. Este tipo de ejercicios fueron comparados con un grupo control.

Todos los tipos de ejercicios han sido esquematizados en la Tabla 5.

Tabla 5. Características y resultados de los estudios pertenecientes a la revisión sistemática (Elaboración propia).

ENSAYOS CLINICOS		D	S/N/E	INTERVENCION	TDI	F	TDS	CONCLUSION ENSAYO
HIIT			H	HIIT: CAL+ 3 estaciones(Correr Cinta 3-4x2' INT 85-95% VO ₂ max 30-45" RA 50% VO ₂ max / EF 2-3 bloques HI/ Bici estática 4-5x45-60" INT 90-95% V02 max 60-75' RA a 30% V02 max)+ ENF y EST	12s	3 d/s	70'	Sesiones de HIIT redujeron el peso corporal, la adiposidad y los perfiles lipídicos, y aumentaron el % magro. La glucosa en ayunas y a las 2h también mejoró. Así como la insulina media en ayunas, sin embargo, se pueden distinguir un grupo de pacientes que sí que mejoro y otro que no. Los valores y la sensibilidad a la insulina no parecen mejorar en todos los sujetos a los que se les aplica en este caso HIIT.
	AEROBICO VS HIIT		H/M	A: CAL + Correr cinta MI 60-70% FC max + ENF HIIT: CAL + Correr Cinta 4x4' INT 90% FC max 3' RA 50-60% FC max + ENF EF:1-2 Bloques Circuito/Max rep con buena respiración	12s	3 d/s F: 2d/s	28' CA	Ambos tipos de tratamiento redujeron significativamente sin diferencia entre ellos la HbA1C mejorando por tanto el control glucémico, la glucosa en ayunas mejoró en el HIIT+EF y no en el EA+EF. La función de las células beta mejoró en ambos sin embargo, la sensibilidad a la insulina se redujo en ambos grupos. Los valores de insulina en ayunas se redujeron en el HIIT+EF y no en el EA+EF.
AEROBICO			H/M	A: Bici estática 70% FC max HIIT: Bici estática 10x3' INT 90% FC max 3' RA 50% FC max	13d	12s/ 13d	60'	Ambos ejercicios a corto plazo mejoraron la regulación de la glucosa y los valores de la insulina a las 2h, ninguno de los valores en ayunas mejoró. El peso corporal disminuyo junto a la masa muscular. Se produjo la reversión a normoglucemia en alrededor del 40% de los sujetos sin diferencia en los tratamientos.

Tabla 5. Características y resultados de los estudios pertenecientes a la revisión sistemática (Elaboración propia) (Continuación).

ENSAYOS CLINICOS			D	S/N/E	INTERVENCION	TDI	F	TDS	CONCLUSION ENSAYO
AEROBICO	AEROBICO VS HIIT	Gilbertson <i>et al.</i> (2019)(50)	MEJ (info)	H/M A: 12/50,8 HIIT: 17/45,7	EA: CAL + EST + Correr Cinta 45-55% FC max 30-60min PR 10' cada 4 semanas + CAL + ENF HIIT: CAL+ EST + Correr Cinta 4-10x30'' Sprint 10 PPM <FC max y Borg 19/20 4'RA andando 2mph, PR 2 sprints cada 4 semanas + CAL + ENF	16s	3d/s	EA:PR 30-60' HIIT:PR 14-41'	En ambos mejoro la glucosa en ayunas y la HbA1C, el ejercicio aeróbico fue mejor a la hora de reducir el peso corporal, la masa grasa y crear adherencia. Ambos tratamientos parecen ser igualmente efectivos para prevenir la DM2.
		Cheng <i>et al.</i> (2017)(47)	NM	H/M Cr: 18/60 EA: 22/59	EA: CAL + EST + Marcha nórdica PR 60-75% VO ₂ max + CAL + ENF	6m	2-3 d/s	PR 30-60'CA	El tratamiento con ejercicio aeróbico produjo una disminución del peso y la grasa corporal total.
		Ryan <i>et al.</i> (2012)(44)	D	M Cr: 17/65 EA: 16/62	EA: CAL + EST + CINTA CORRER/ELIPTICA 85% FC max + CAL + EST	6m	3 d/s	45'CA	Ambos grupos mejoraron significativamente la regulación de la glucosa, así como redujeron el peso y grasa corporal, acompañado de una pérdida magra. Sin embargo, solo el grupo con EA aumentó la forma física y mejoró en mayor medida la sensibilidad a la insulina y la síntesis de glucógeno en mujeres postmenopáusicas con IGT.

Tabla 5. Características y resultados de los estudios pertenecientes a la revisión sistemática (Elaboración propia9 (Continuación).

ENSAYOS CLINICOS				D	S/N/E	INTERVENCION	TDI	F	TDS	CONCLUSION ENSAYO
AEROBICO	AEROBICO/FUERZA	+	Álvarez <i>et al.</i> (2012)(52)	n/d	M CR: 14/40 EC: 14/43	EF: CAL+8 Ej a 10%-20% 1RM 1'(1'DES pasivo) EA: andar/correr 70%FCmáx la velocidad aumenta PR FC=	20s	3 d/s	EF:50' EA:30'	20 s de EA+EF en mujeres mejoró la glucosa en ayunas, los perfiles lipídicos y redujo tanto el peso como la grasa corporal.
		VS	Yuan <i>et al.</i> (2020)(51)	D	H/M Cr: 83/60,7A: 83/60,9F: 82/59,9	EA: CAL + ejercicios aeróbicos 60-70% FC max + EST EF:1-2d/s 13 Ej 50% 1RM 6-8x13 rep PR 1-2s 3d/s hasta el final Ej 60% 1RM 10-15x13	6m	EA: 3 d/s EF: PR 1-3 d/s	EA:60' EF:50'	Ambos ejercicios mejoraron la glucemia sin diferencias significativas entre ellos, así como redujeron el peso. Además de proteger la función de las células beta.
	FUERZA		Eikenberg <i>et al.</i> (2016)(49)	NM	H/M IGT:21 IFG:73 IGT/IFG:65 Edad Total: 59,6	EF: 1 serie 12 ejercicios 8-12 rep max(3" con/3"exc)PR 5% peso cuando 8 rep 2 sesiones consecutivas	12s	2 d/s	n/d	El EF mejoró la homeostasis de la glucosa (2h) en el total pero no en aquellos con solo IFG. Sin embargo el IGT fue el único que no redujo su grasa corporal y aumentó su masa magra.

Tabla 5. Características y resultados de los estudios pertenecientes a la revisión sistemática. Elaboración propia. (Continuación).

ENSAYOS CLINICOS		D	S/N/E	INTERVENCION	TDI	F	TDS	CONCLUSION ENSAYO
FUERZA	Marcus <i>et al.</i> (2009)(53)	MEJ	M Cr:6/53,2 EF: 10/56,3	EF: Ergómetro excéntrico 5' percepción esfuerzo suave(Borg) PR 30' percepción esfuerzo duro(Borg)	12s	3 d/s	PR 5-30'	Este tipo de EF mejoro la masa muscular y la función sin empeorar la Sensibilidad a la insulina en mujeres menopáusicas con IGT.
ALTA INTENSIDAD NIÑOS	Savoye <i>et al.</i> (2014)(43)	MEJ	H/M Cr: 31/12,9 Ej: 27/12,9	EJERCICIOS: CAL+ ejercicios alta intensidad para niños modificado para incrementar la FC	6m	2 d/s	50'	Este tipo de ejercicio en niños mejoro la glucosa a las 2 h así como la sensibilidad a la insulina, y redujo el peso. Más de la mitad (61%) de los niños redujo sus niveles de glucosa por debajo de los criterios de inclusión.

INT: Intervalos/ HI: High intensity("Alta intensidad")/ MI: Moderate intensity("Intensidad Moderada")/ CA: Componente Activo/ CAL: Calentamiento/ RA: Recuperación activa/ ENF: Enfriamiento/ EST: Estiramientos/ PPM: Pulsaciones por minuto/ PR: Progresión/ Cr: Control/ H:Hombre/ M:Mujer/ rep: repeticiones/ mph: metros por hora/FC max: Frecuencia cardiaca máxima/ VO₂ max: Volumen de oxígeno máximo/ ej: ejercicio/ EC: Ejercicio combinado

D: Todos los grupos llevaron a cabo la misma dieta durante el estudio/ NM: Ningún grupo modifico sus hábitos dietéticos durante el estudio/ MEJ: A todos los grupos se les aconsejo que mejoraran sus hábitos dietéticos/ DES: descanso/ *Estos sujetos tenían prediabetes y la enfermedad del hígado graso no alcohólico

n/d: No determinado

4.2.3 Dieta

En cuanto a los aspectos relacionados con la nutrición durante las intervenciones, solo dos de los once ensayos incluidos en la presente revisión llevaron a cabo dietas en todos sus grupos de intervención. Ryan *et al.*(44) estableció tanto en el grupo control como en el de ejercicio aeróbico el mismo tipo de dieta de restricción calórica, por otra parte, Yuan *et al.*(51) proporcionó un mismo tipo de dieta saludable para todos sus grupos basada en el mismo porcentaje de macronutrientes (55%-60% hidratos de carbono, 15%-20% proteínas, 25%-30% grasas).

Tres estudios recomendaron a todos sus grupos que mejorasen sus hábitos nutricionales(43,50,53). Gilbertson *et al.* (50) además de aconsejar mejorar estos hábitos, proporcionó información de cómo hacerlo.

Cuatro estudios comunicaron expresamente a todos los participantes de sus grupos que no modificasen sus hábitos dietéticos durante el estudio (45–47,49).

Los dos estudios restantes no informan acerca de ningún tipo de intervención en el estado nutricional durante las intervenciones (48,52).

4.2.4 Duración de la intervención

Los tiempos de duración más frecuentes en las intervenciones fueron tanto de 12 semanas, como de 6 meses. Cuatro ensayos utilizaron 12 semanas como tiempo de intervención (45,46,49,53), y otros cuatro estudios utilizaron 6 meses como tiempo de intervención (43,44,47,51).

El periodo de intervención más corto fue de 13 días, realizado en el estudio de Gilbertson *et al.*(48).

Gilbertson *et al.*(50) y Alvarez *et al.*(52) realizaron 16 y 20 semanas de intervención respectivamente.

4.2.5 Modos de realización del ejercicio.

El ejercicio realizado en bici estática fue llevado a cabo tanto en las intervenciones de HIIT como de EA. En el HIIT de Liu *et al.*(45) y Gilbertson *et al.*(48), utilizaron la bicicleta estática de manera interválica. Gilbertson *et al.*(48), a su vez, la utilizó de manera continua en sus ejercicios aeróbicos.

La cinta de correr fue utilizada por tres estudios de manera interválica en sus grupos de HIIT (45,46,50). Además se utilizó en los grupos aeróbicos de tres estudios (44,46,50). En Ryan *et al.*(44), la elíptica también fue utilizada. En Alvarez *et al.*(52), el ejercicio aeróbico fue correr/andar pero no se especifica el lugar o modo. Cheng *et al.*(47), realizó el ejercicio aeróbico mediante marcha nórdica y Yuan *et al.*(51), por su parte, realizó ejercicios aeróbicos pero no especificó la manera, solo la intensidad.

Los ejercicios de fuerza fueron realizados abarcando la mayoría de los grupos musculares(cuerpo completo) en todos los estudios que utilizaron este tipo de ejercicio menos en Marcus *et al.*(53), que se centró solo en trabajo de la extremidad inferior.

Tres estudios utilizaron peso libre(46,51,52). Rowan *et al.*(46), combinó este tipo de ejercicio con ejercicios isométricos y con propio peso corporal. Yuan *et al.*(51), por su parte combinó los ejercicios de peso libre con máquinas de entrenamiento de fuerza.

Eikenberg *et al.*(49) y Marcus *et al.*(53) utilizaron solo máquinas. Marcus *et al.*(53) utilizó únicamente una máquina en las extremidades inferiores, un ergómetro excéntrico.

Savoye *et al.*(43) utilizó ejercicios diseñados específicamente para niños.

En ocho de los 11 estudios se comentó haber realizado calentamiento antes del componente activo del entrenamiento (43–47,50–52), y en tres de ellos se realizó estiramientos junto al calentamiento (44,47,50).

En cinco estudios se llevó a cabo un método de enfriamiento al final de cada sesión (44–47,50). También en cinco estudios, se realizaron estiramientos al final de cada sesión (44,45,47,50,51).

4.2.6 Intensidad

Tanto en HIIT como en EA se utilizó o la Frecuencia Cardíaca Máxima (FC max) o el Volumen máximo de oxígeno (VO₂ max).

EA: La FC max fue utilizada para el EA en seis estudios (44,46,48,50–52). El rango de trabajo varió entre 45-85% FC max. El más bajo con 45-55% FC max fue Gilbertson *et al.*(50), entre 60-70% FC max hubo dos estudios(46,51), dos estudios realizaron el ejercicio al 70% de la FC max(48,52), Ryan *et al.* (44), por su parte, fue el que más intensidad utilizó con un 85% FC max. El VO₂ max se utilizó solo en Cheng *et al.*(47) con un rango de entre 60-75% VO₂ max.

HIIT: Tres estudios utilizaron la FC max en el HIIT(46,48,50). Rowan *et al.*(46) y Gilbertson *et al.*(48) realizaron los intervalos al 90% FC max con un descanso activo entre bloques de 50-60% y 60% respectivamente. Gilbertson *et al.*(50) llevó a cabo los intervalos a 10ppm por debajo de la FC max y a un Borg 19/20 con una recuperación activa a 2 metros por hora. Solo, Liu *et al.*(45), utilizó el VO₂max para determinar la intensidad en los estudios con HIIT, realizando intervalos con rangos de entre 85-95% VO₂ max y 30-50% VO₂ max como recuperación activa entre intervalos.

En todos los estudios que presentaban ejercicios de fuerza menos en Marcus *et al.*(53) que se utilizó la escala Borg y Rowan *et al.*(46) que se utilizó la respiración como medida de intensidad, se utilizó el porcentaje o número de repeticiones máximas para determinar la intensidad de la intervención.

Rowan *et al.*(46), realizó entre 1 y 2 bloques de un circuito a las máximas repeticiones que le permitiesen mantener una buena respiración. Alvarez *et al.*(52) realizó 8 ejercicios diferentes al 10-20% de su 1RM (repeticion máxima) durante 1 minuto cada ejercicio. Yuan *et al.*(51), por su parte, realizó 13 ejercicios al 50-60% de su 1RM entre 8 y 15 repeticiones cada ejercicio. Eikenberg *et al.*(49), llevó a cabo 1 serie de entre 8 a 10 repeticiones de 12 ejercicios diferentes a su 12 RM. Por último, Marcus *et al.*(53), llevó a cabo entre 5-30 min de ergómetro excéntrico a una percepción Borg suave-duro.

4.2.7 Progresiones

Cinco estudios remarcaron haber realizado una progresión bien en el número de series o repeticiones como en el tiempo de tratamiento. Gilbertson *et al.*(50), aumentó 10 minutos cada 4 semanas pasando de los 30 minutos a los 60. Cheng *et al.*(47), por su parte, incrementó la intensidad de un 60 a un 75% del VO₂ max así como de 30 a 60 min a lo largo de la duración de la intervención. Yuan *et al.*(51), realizó una progresión desde 1 día a la semana finalizando la intervención con 3 días a la semana en su grupo de fuerza, así como de un 50 a un 60% 1RM del peso y de 6-8 a 10-15 en el número de repeticiones. Eikenberg *et al.*(49), aumentó un 5% en el peso cuando se conseguían 8 repeticiones con el peso en dos sesiones consecutivas. Marcus *et al.*(53), aumentó tanto la duración como la intensidad pasando de 5 a 30 minutos al final de la intervención y de un esfuerzo “suave” en Borg a uno “duro”.

Cuatro estudios remarcan haber aumentado la intensidad de la intervención en función de la mejora de su capacidad cardiaca o respiratoria, bien subiendo la velocidad o aumentando la inclinación para conseguir que su VO₂ max o %FC max siguiesen constantes (45,46,48,52).

Los dos estudios restantes no especifican si se subió la intensidad de la intervención para mantener constantes estas variables(43,44). Se desconoce si realizaron lo mismo que los cuatro anteriores o aplicaron la misma intensidad en función del resultado dado el día de toma de medidas.

4.2.8 Duración y frecuencia de las sesiones.

Las duraciones de las sesiones varían desde los 5 minutos hasta los 75 minutos. En tres estudios se progresa en la duración de las sesiones(47,50,53).

La frecuencia de tratamiento más común fue de 3 días a la semana, se da en 8 estudios (44–47,50–53).

En cinco estudios se realizó el ejercicio en una frecuencia de 2 días a la semana, en dos de ellos(43,49), como única frecuencia, en Rowan *et al.*(46) solo al grupo de fuerza y en Cheng *et al.*(47) y Yuan *et al.*(51) como frecuencia intermedia hasta llegar mediante la progresión a 3 días.

La frecuencia de tratamiento más alta fue la dada en Gilbertson *et al.*(48), con una frecuencia de doce sesiones en trece días.

4.2.9 Adherencia y abandono

En el grupo de HIIT de Liu *et al.*(45), el 13% fue excluido del estudio por falta de asistencia. Gilbertson *et al.*(48), registró un 96.5% y 99.3% de asistencia para el HIIT y el EA, respectivamente. Gilbertson *et al.*(50), no registró diferencias en la asistencia, pero 14 participantes no terminaron el estudio por diferentes motivos (11HIIT, 3EA). Rowan *et al.*(46) no registró diferencias de asistencia en sus grupos HIIT+EF y EA+EF.

El ejercicio aeróbico realizado en Ryan *et al.*(44), registró un 87% de participación. El 75,9% de los participantes del grupo EA de Cheng *et al.*(47) terminaron la intervención, 62,1% en el grupo no intervención. En los grupos de Yuan *et al.*(51), 21 personas no terminaron la intervención por distintos motivos (10EA, 11F).

En el ejercicio de fuerza de Marcus *et al.*(53), hubo un 100% de participación. En Eikenberg *et al.*(49), no se registraron diferencias de asistencia en sus grupos al final del tratamiento. Seis sujetos en Alvarez *et al.*(52) no completaron el estudio por diferentes motivos.

En el ejercicio de alta intensidad para niños(AIN) de Savoye *et al.*(43), 17 niños no completaron el estudio (7 intervención, 10 control).

4.3 Variables de medición utilizadas

4.3.1 Niveles de glucosa en sangre

Los once estudios en análisis midieron al menos una de las tres variables que determinan el nivel de glucosa en sangre: Glucosa plasmática en ayunas, Test de tolerancia oral a la glucosa y/o HbA1c.

La glucosa plasmática en ayunas fue medida en los once ensayos(43–53), el test de tolerancia oral a la glucosa fue medido en ocho de los once estudios(43–49,51). La

menos medida fue la HbA1c, analizada en cinco de los once ensayos(43,46,47,50,51).

4.3.2 Insulina en sangre

Los niveles de insulina en sangre fueron medidos para al menos una de las dos variables (insulina en ayunas, insulina a las 2h) en todos los estudios menos en Eikenberg *et al.*(49) y Alvarez *et al.*(52).

La insulina en ayunas fue la más medida de las dos analizada en 9 estudios (43–48,50,51,53). Por su parte la insulina a las 2h se midió en cinco estudios(43,44,46–48).

4.3.3 Composición Corporal

Las variables de composición corporal más medidas fueron el peso corporal (43–48,50–52), y el índice de masa corporal(IMC) (43–46,48–52), medidos ambos en nueve estudios. El ratio cintura cadera (RCC) fue medido en tres estudios (45,50,52), y la circunferencia de la cintura (CC) fue medida en cuatro estudios (44,46,49,52).

El porcentaje graso corporal(%G) fue medido en seis estudios (43–47,49), la masa grasa(MG) por otra parte se midió en cinco estudios (43,44,47,48,50).

El porcentaje de masa magra(%M) solo se midió en Liu *et al.*(45), sin embargo, la masa magra(MM, en “kg”) fue medida en 6 estudios (44,47–50,53). De los 6 Marcus *et al.*(53) fue el único que no midió la masa magra total, centrándose solo en la masa magra de la pierna.

La grasa hepática(GH) fue medida solo en Cheng *et al.*(47), la grasa abdominal visceral(GAV) fue medida en Cheng *et al.*(47) y Ryan *et al.*(44). Por otra parte, la grasa abdominal subcutánea(GAS) fue medida en Cheng *et al.*(47), Ryan *et al.*(44) y Marcus *et al.*(53).

4.3.4 Perfil Lipídico

El colesterol total fue medido en cuatro de los once estudios(43,45,51,52), los triglicéridos sin embargo fueron analizados en cinco estudios(43,45,47,51,52).

4.3.5 HOMA-%IR, HOMA-%B, HOMA-%S y Matsuda Index

Para analizar el riesgo de adquisición de diabetes y cuantificar la resistencia (IR, “*insulin resistance*”) o sensibilidad (S, Matsuda) a la insulina así como la actividad del páncreas (B), se utilizó los modelos HOMA y Matsuda.

HOMA-%IR fue calculado en cuatro estudios(43,45,50,51), el HOMA-%B fue medido en dos estudios(46,51), y el HOMA-%S fue analizado solo en Rowan *et al.*(46).

El Matsuda Index o ISI (*Insulin Sensitivity Index*) fue analizado en tres estudios(45,47,49).

4.4 RESULTADOS INTERVENCIONES

En este apartado se darán los resultados de las variables comentadas anteriormente para cada grupo intervenido en los once estudios analizados. Estos resultados son mostrados a través de tablas resumen que muestran los resultados mediante un p valor que indica la significación (<0,05) de las diferencias de las variables entre el principio y el final de las intervenciones, y otro p valor que indica la significación (<0,05) de las diferencias del final de las intervenciones bien entre el grupo de intervención y su grupo control o entre dos grupos intervención pertenecientes al mismo estudio.

Las tablas indican solo la significación de los resultados, si dicha significación es positiva o negativa será comentada a continuación junto a los resultados de las mismas.

4.4.1 Niveles de glucosa en Sangre.

Liu *et al.*(45) analizó la glucosa en ayunas y la glucosa a las 2h, ambas se redujeron al final de la intervención mejorando significativamente tanto frente al principio de

la intervención como al final de la intervención de su grupo control. Los subgrupos clasificados como respondedores (R) y no respondedores (NR) por sus diferencias en otras variables no obtuvieron resultados significativamente diferentes.

Gilbertson *et al.*(48) midió tanto en el grupo HIIT como en el EA la glucosa en ayunas y la glucosa a las 2h, solo en el test a las 2h hubo una reducción significativa de la glucosa en ambos grupos, sin observarse diferencias significativas entre ellos.

Gilbertson *et al.*(50) obtuvo una mejoría reduciendo los valores de ambas variables analizadas para sus dos grupos (HIIT, EA). Tanto la glucosa en ayunas como la HbA1c obtuvieron cambios significativos en comparación al inicio de la intervención sin haber diferencias significativas entre ambos grupos.

Rowan *et al.*(46) analizó las tres variables de glucosa en sus dos grupos (HIIT+EF, EA+EF). No hubo diferencias significativas en ninguna variable entre ambos grupos. Sin embargo, el HIIT+EF mejoró significativamente reduciendo tanto la glucosa en ayunas como la HbA1c. El EA+EF por su parte, solo obtuvo cambios significativos reduciendo la HbA1c. Ningún cambio significativo fue observable para la glucosa a las 2h.

Yuan *et al.*(51) analizó las tres variables en sus dos grupos de estudio. Tanto en el grupo de fuerza como en el aeróbico se redujeron las tres variables significativamente en comparación al inicio de la intervención. No hubo cambios significativos entre ambos grupos en estas variables, aunque sí (en todas ellas) respecto al grupo control.

Eikenberg *et al.*(49) midió en su grupo de EF el resultado de la glucosa en ayunas y la glucosa a las 2h, solo la glucosa a las 2h se redujo significativamente en la media total de sus participantes. Sin embargo, dicha reducción solo se produjo con significación en aquellos con fenotipo IGT e IGT/IFG, los participantes con fenotipo IFG no obtuvieron reducción significativa en la glucosa a las 2h.

Marcus *et al.*(53) solo midió la glucosa en ayunas sin obtener diferencias significativas entre el inicio y final de la intervención en su único grupo de fuerza.

Alvarez *et al.*(52) solo realizó la medición de la glucosa en ayunas reduciéndola significativamente en su grupo EF+EA en comparación tanto del grupo intervención como con el inicio de la intervención.

En el estudio de Cheng *et al.*(47) se analizaron las tres variables, sin obtener en ninguna de ellas algún resultado significativo.

Ryan *et al.*(44) por su parte, analizó tanto la glucosa en ayunas como a las 2h obteniendo reducciones significativas para su grupo EA en ambas dos variables en comparación con el principio de la intervención. Sin embargo no hubo diferencias significativas en ninguna de las dos variables al compararlas con las mejorías de su grupo control.

Savoye *et al.*(43), solo muestra la significación estadística de los resultados de las tres variables en comparación con el grupo control. Ambas tres variables mejoran sin saber si lo hacen significativamente en comparación al inicio de la intervención. En relación al grupo control, solo la variable glucosa a las 2h mejora significativamente en el grupo de AIN.

4.4.2 Insulina en sangre.

Liu *et al.*(45) analizó la insulina en ayunas. La insulina en sangre se redujo significativamente al final de la intervención para la media total del grupo intervención, sin embargo, el subgrupo “respondedor” obtuvo resultados significativamente mejores que el “no respondedor” que ni siquiera mejoro sus niveles de insulina en ayunas.

Gilbertson *et al.*(48) midió los niveles sanguíneos tanto de insulina en ayunas como a las 2h. Ninguno de sus dos grupos, HIIT+EF y EA+EF, mejoraron significativamente sus niveles de insulina en ayunas. Sin embargo, ambos redujeron significativamente dichos niveles en el test de las 2h, sin haber diferencias significativas entre ellos.

Gilbertson *et al.*(50) solo analizó la insulina en ayunas, ninguno de sus grupos (HIIT+EF y EA+EF) obtuvo resultados significativamente diferentes a los del principio de la intervención.

Yuan *et al.*(51) solo midió los niveles de insulina en ayunas, ninguno de sus grupos (EA o EF) obtuvo resultados significativamente diferentes a los del principio de la intervención.

Marcus *et al.*(53) solo analizó la insulina en ayunas, su único grupo de fuerza no obtuvo resultados significativamente diferentes a las medidas tomadas antes de iniciar la intervención.

Cheng *et al.*(47) midió tanto la insulina en ayunas como a las 2h. Su grupo de EA no obtuvo modificaciones significativas ni con el inicio de la intervención ni con su grupo control.

Ryan *et al.*(44), mejoró reduciendo significativamente los niveles de insulina en ayunas como a las 2h tanto en su grupo control con dieta, como con el intervención EA+dieta. Sin embargo, en el test de insulina a las 2h la reducción fue significativamente mayor en el grupo de EA+dieta. No hubo diferencias significativas entre ambos para el test de insulina en ayunas.

El grupo AIN de Savoye *et al.*(43), obtuvo diferencias significativas tanto en el test en ayunas como en test a las 2h respecto a su grupo control. En comparación con el inicio de la intervención, el grupo AIN redujo los niveles de insulina en ambas variables. Se desconoce la significación de esta reducción.

TABLA 6. Significación estadística de los Resultados (Glucosa/Insulina). Elaboración propia.

Estudios			Glucosa en Ayunas		Glucosa 2h		HbA1c		Insulina en Ayunas		Insulina 2h	
			p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)
HIIT	Liu(45) HIIT	T	<0,001	0,022	<0,001	<0,001			0,026	0,806		
		R		0,311 [¥]		0,520 [¥]				<0,001 [¥]		
		NR		0,311 [¥]		0,520 [¥]				<0,001 [¥]		
	Gilbertson(48) HIIT		0,7	0,28 ^{\$}	0,01	0,66 ^{\$}			0,89	0,75 ^{\$}	0,03	0,38 ^{\$}
	Gilbertson(50) HIIT		<0,05	NS [†]			<0,05	NS [†]	NS	NS [†]		
HIIT +EF	Rowan(46) HIIT+EF		0,03	NS [£]	0,83	NS [£]	0	NS [£]	0,02	NS [£]	0,52	NS [£]
FUERZA	Yuan(51) EF		<0,01	0,284 ^λ	0,02	0,249 ^λ	<0,001	0,059 ^λ	0,802	0,594 ^λ		
	Eikenberg(49) EF		0,196	0,274 [^]	<0,001	<0,001 ^{^^}						
	Marcus(53) EF		NS	NS					NS	NS		
F+EA	Rowan(46) EF+EA		0,19	NS [£]	0,34	NS [£]	0,01	NS [£]	0,81	NS [£]	0,12	NS [£]
	Alvarez(52) EF+EA		<0,05	0,019								
Aeróbico	Gilbertson(48) EA		0,7	0,28 ^{\$}	0,01	0,66 ^{\$}			0,89	0,75 ^{\$}	0,03	0,38 ^{\$}
	Gilbertson(50) EA		<0,05	NS [†]			<0,05	NS [†]	NS	NS [†]		
	Cheng(47) EA		0,458	NS	0,477	NS	0,911	NS	0,922	NS	0,264	NS
	Ryan(44) EA		<0,001	NS	<0,001	NS			<0,001	NS	<0,05	<0,05
	Yuan(51) EA		<0,01	0,284 ^λ	0,02	0,249 ^λ	<0,001	0,059 ^λ	0,802	0,594 ^λ		
AIN	Savoye(43) AIN			0,16		0,005		0,19		0,03		<0,001

p(1): P valor respecto al principio de la intervención /p(2): P valor respecto al grupo perteneciente a su estudio; T: Total de los participantes

Los grupos con el mismo símbolo (¥, \$, †, £, λ) serán comparados entre sí, cuando no tienen símbolo, el grupo control es con el que se compara (no presente en la tabla)

NS: No significativo/^: En el test de glucosa en ayunas no hubo diferencias significativas entre ningún grupo (IGT, IFG, IGT/IFG)/ ^^: En el test de 2h glucosa, IGT e IGT/IFG mejoraron significativamente, pero IFG no.

4.4.3 Composición Corporal

Liu *et al.*(45) analizó tanto el peso como el índice de masa corporal, solo el peso se redujo significativamente en comparación al inicio de la intervención. El ratio cintura cadera también fue medido disminuyendo con significación. Se produjo también una reducción del porcentaje graso ($p<0,001$) y un aumento del magro ($p<0,001$). Ninguna de las anteriores variables obtuvo diferencias significativamente diferentes entre el subgrupo respondedor y el no respondedor.

Gilbertson *et al.*(48) disminuyó con significación tanto el peso corporal, como el IMC, y la masa magra corporal en ambos de sus dos grupos (HIIT y EA), sin haber diferencias significativas entre ningún grupo. Ningún grupo obtuvo cambios significativos en la masa grasa corporal.

Gilbertson *et al.*(50) por su parte redujo significativamente en sus dos grupos (HIIT y EA) tanto el peso corporal, como el IMC y la masa grasa corporal. Sin embargo, el grupo de EA fue significativamente superior a la hora de mejorar ambos tres valores que el grupo HIIT. Ningún grupo obtuvo cambios significativos ni en el ratio cintura cadera ni en la masa magra corporal.

Ninguno de los grupos de Rowan *et al.*(46), el de HIIT+EF y EA+EF, modificaron significativamente sus IMC, pesos corporales o porcentajes grasos corporales. Solo la circunferencia de la cintura se redujo significativamente, sin diferencias entre ambos grupos.

Tanto el IMC como el peso corporal se redujeron significativamente en ambos grupos de Yuan *et al.*(51), EF y EA, sin diferencias entre ellos.

En su único grupo de fuerza, Eikenberg *et al.*(49), no obtuvo modificaciones significativas en ningún fenotipo para el IMC. Sin embargo, IFG e IGT/IFG redujeron significativamente el %G y aumentaron la MM, pero IFG no. La circunferencia de la cintura se redujo significativamente al final de la intervención en el total sin diferencia entre fenotipos.

Marcus *et al.*(53), en su único grupo de fuerza aumentó significativamente la masa magra de su pierna en comparación al grupo control, pero no obtuvo modificaciones significativas en la grasa abdominal subcutánea.

Alvarez *et al.*(52), en su grupo EF+EA, redujo significativamente tanto su peso corporal como la circunferencia de la cintura y su porcentaje graso. El peso corporal y la circunferencia de la cintura fueron significativamente inferiores al grupo control, se desconoce la significación de esta comparación en la variable porcentaje graso. No hubo una modificación significativa ni en IMC, ni en la masa magra.

Cheng *et al.*(47), en su único grupo de EA, redujo significativamente tanto el peso corporal como la masa y el porcentaje de grasa, no obtuvo diferencias significativas en el peso corporal con el grupo control, pero si, en la reducción del porcentaje graso y la masa grasa. Además redujo significativamente tanto la grasa hepática como la grasa abdominal subcutánea, esta última a diferencia de la hepática no obtuvo diferencias significativas con el grupo control. Ni la masa magra ni la grasa abdominal visceral obtuvieron modificaciones significativas.

En el grupo EA+dieta de Ryan *et al.*(44), se obtuvo una reducción significativa en el peso corporal, el IMC, el porcentaje graso y masa grasa, la masa magra, en la circunferencia de la cintura, en la grasa abdominal subcutánea y en la grasa abdominal visceral. No hubo ninguna diferencia significativa en los resultados de este grupo y el grupo control con la misma dieta de restricción calórica.

El grupo de AIN de Savoye *et al.*(43) redujo significativamente tanto el peso corporal, como el IMC, el porcentaje graso y masa grasa en comparación al grupo control.

TABLA 7. Significación estadística de los Resultados (Composición Corporal)
(Elaboración propia).

Estudios			Peso Corporal		IMC		RCC/CC		%G/MG		%M/MM		GH/GAV/GAS	
			p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)
HIIT	Liu (45) HIIT	T	0,003	0,897	0,192	0,623	<0,001 RCC	0,276 RCC	<0,001 %G	0,855 %G	<0,001 %M	0,612 %M		
		R				0,850 ¥		0,761 ¥ RCC		0,888 ¥ %G		0,856 ¥ %M		
		NR				0,850 ¥		0,761 ¥ RCC		0,888 ¥ %G		0,856 ¥ %M		
	Gilbertson (48) HIIT		0,03	0,30 ^{\$}	0,02	0,26 ^{\$}			0,18 MG	0,55 ^{\$} MG	0,001 MM	0,7 ^{\$} MM		
	Gilbertson (50) HIIT		<0,05	<0,05 [†]	<0,05	<0,05 [†]	NS RCC	NS [†] RCC	<0,05 MG	<0,05 [†] MG	NS MM	NS [†] MM		
HIIT+EF	Rowan(46) HIIT+EF		0,18	NS [£]	0,19	NS [£]	0,01 CC	NS [£] CC	0,72 %G	NS [£] %G				
FUERZA	Yuan(51) EF		0,006	0,814 ^λ	0,006	0,828 ^λ								
	Eikenberg (49) EF				0,603	0,217 ^Λ	0,001 CC	0,483 ^Δ CC	<0,001 %G	0,026 ^{ΔΔ} %G	0,001 MM	0,001 ^{ΔΔ} MM		
	Marcus(53) EF											<0,05 MM Pierna	NS GAS	NS GAS
EF+EA	Rowan (46) EF+EA		0,42	NS [£]	0,37	NS [£]	0,02 CC	NS [£] CC	0,67 %G	NS [£] %G				
	Alvarez(52) EF+EA		0,026	<0,001	NS	0,186	<0,001 CC	<0,001 CC	<0,05 %G		NS MM	NS MM		
Aeróbico	Gilbertson (48) EA		0,03	0,30 ^{\$}	0,02	0,26 ^{\$}			0,18 MG	0,55 ^{\$} MG	0,001 MM	0,7 ^{\$} MM		
	Gilbertson (50) EA		<0,05	<0,05 [†]	<0,05	<0,05 [†]	NS RCC	NS [†] RCC	<0,05 MG	<0,05 [†] MG	NS MM	NS [†] MM		
	Cheng (47) EA		0,046	NS					<0,001 %G y MG	0,003 %G	0,96 MM	NS MM	0,018 HF	0,006 HF
										0,011M G			0,223 GAV	NS GAV
													0,04 GAS	NS GAS
	Ryan (44) EA		<0,001	NS	<0,001	NS	<0,001 CC	NS CC	<0,001 %G y MG	%G y MG NS	<0,001 MM	NS MM	<0,001 GAS y GAV	NS GAS y GAV
	Yuan (51) EA		0,006	0,814 ^λ	0,006	0,828 ^λ								
AIN	Savoye (43) AIN			0,006		0,005				0,002 %G y MG				

p(1): P valor respecto al principio de la intervención /p(2): P valor respecto al grupo perteneciente a su estudio;
T: Total de los participantes

Los grupos con el mismo símbolo (¥, §, †, £, λ) serán comparados entre sí, cuando no tienen símbolo, el grupo control es con el que se compara (no presente en la tabla)

IMC: Índice de Masa Corporal /RCC: Ratio cintura cadera /CC: Circunferencia Cintura /%G: Porcentaje grasa corporal /MG: Masa grasa corporal /%M: Porcentaje magro /MM: Masa magra /GH: Grasa hepática /GAV: Grasa abdominal visceral /GAS: Grasa abdominal subcutánea /NS: No significativo /

^: No hubo diferencias significativas en ninguno de los tres fenotipos (IGT, IFG, IGT/IFG)/

^^: IFG e IGT/IFG redujeron significativamente el %G y aumentaron la MM, pero IGT no.

4.4.4 Perfil lipídico

Liu *et al.*(45) analizó tanto el colesterol como los triglicéridos en su único grupo de HIIT, redujo ambos valores significativamente, no hubo diferencias significativas entre los dos subgrupos (Respondedores y No Respondedores).

Tanto el grupo de fuerza como el de ejercicio aeróbico de Yuan *et al.*(51) no obtuvieron diferencias significativas en el colesterol total y en los triglicéridos en comparación al inicio de la intervención.

Alvarez *et al.*(52) también midió las dos variables en su único grupo EF+EA, ambas se redujeron significativamente tanto en comparación con el inicio de la intervención como con el grupo control.

Cheng *et al.*(47) no consiguió modificaciones significativas en el nivel de triglicéridos en su grupo de intervención (ejercicio aeróbico).

Savoye *et al.*(43) analizó tanto los triglicéridos como el colesterol total. Solo consiguió disminuir significativamente en comparación al grupo control los triglicéridos.

4.4.5 HOMA-%IR, HOMA-%B, HOMA-%S y Matsuda Index

El único grupo(HIIT) de Liu *et al.*(45) disminuyó significativamente el HOMA-%IR tanto en comparación con el inicio de la intervención como con el grupo control. Su subgrupo Respondedor aumentó significativamente el matsuda index en comparación con el No Respondedor.

Ninguno de los dos grupos(HIIT,EA) de Gilbertson *et al.*(50) modificó significativamente su HOMA-%IR.

Ambos grupos(HIIT+EF,EA+EF) de Rowan *et al.*(46) aumentaron el HOMA-%B y redujeron el HOMA-%S significativamente, sin haber diferencias significativas de estas mejoras entre ambos grupos.

Tanto el grupo de fuerza como el de ejercicio aeróbico de Yuan *et al.*(51) aumentaron significativamente su HOMA-%B sin haber diferencias significativas de

estos aumentos entre ambos. El HOMA-%IR de ninguno de los dos grupos se modificó significativamente.

El único grupo intervención (fuerza) de Eikenberg *et al.*(49) no obtuvo cambios significativos para ninguno de sus fenotipos así como tampoco para el total de los participantes en el Índice Matsuda.

Cheng *et al.*(47) analizó el Matsuda Index en su único grupo (EA) intervención sin obtener modificaciones significativas.

Savoye *et al.*(43) redujo significativamente en su grupo de ejercicio de alta intensidad para niños el HOMA-%IR, en comparación al grupo control.

TABLA 8. Significación estadística de los Resultados (Perfil Lipídico/ HOMA/ Matsuda Index) (Elaboración propia).

Estudios			Colesterol Total		Triglicéridos		HOMA (%IR, %B, %S)		Matsuda Index o ISI	
			p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)	p(1)	p(2)
HIIT	Liu (45) HIIT	T	0,027	0,349	0,016	0,741	0,031%IR	0,042%IR		
		R		0,103 [¥]		0,859 [¥]				0,002 [¥]
		NR		0,103 [¥]		0,859 [¥]				0,002 [¥]
	Gilbertson (48) HIIT									
	Gilbertson (50) HIIT						NS %IR	NS [†] %IR		
HIIT +EF	Rowan (46) HIIT+EF						0,02%B y 0,05%S	NS [£] %B y %S		
FUERZA	Yuan (51) EF		0,078	0,652 ^λ	0,400	0,666 ^λ	0,409 %IR <0,01 %B	0,497 ^λ %IR 0,700 ^λ %B		
	Eikenberg (49) EF								0,459	0,513 [^]
	Marcus (53) EF									
EF+EA	Rowan(46) EF+EA						0,006 %B y 0,01%S	NS [£] %B y %S		
	Alvarez(52) EF+EA		<0,038	<0,0001	<0,0001	<0,0001				
Aeróbico	Gilbertson (48) EA									
	Gilbertson (50) EA						NS %IR	NS [†] %IR		
	Cheng (47) EA				0,766	NS			0,187	NS
	Ryan (44) EA									
	Yuan (51) EA		0,078	0,652 ^λ	0,400	0,666 ^λ	0,409 %IR <0,01 %B	0,497 ^λ %IR 0,700 ^λ %B		
AIN	Savoye (43) AIN			0,24		0,005		0,03 %IR		

p(1): P valor respecto al principio de la intervención /p(2): P valor respecto al grupo perteneciente a su estudio;

Los grupos con el mismo símbolo (¥, †, £, λ) serán comparados entre sí, cuando no tienen símbolo, el grupo control es con el que se compara (no presente en la tabla)/ T: Total de los participantes

NS: No significativo /^: No hubo diferencias significativas en ninguno de los tres fenotipos (IGT, IFG, IGT/IFG).

5. DISCUSION

En el siguiente apartado se establece una comparación entre los resultados de los diferentes ensayos, así como se aporta una posible explicación para las diferencias que en ellos se dan. Además las intervenciones serán analizadas en su totalidad abarcando los apartados relevantes para la toma de conclusiones y de tal manera, poder cumplir con los objetivos establecidos previamente.

5.1 Niveles de glucosa en Sangre

La glucosa en sangre es la principal variable a tener en cuenta a la hora de determinar si un tratamiento está siendo efectivo para prevenir la diabetes o revertir al estado de normoglucemia. Esto se debe principalmente a que tanto el método diagnóstico de diabetes como de prediabetes se sirven de una medición de este glucosa mediante tres métodos diferentes: test de glucosa en ayunas, test de tolerancia oral a la glucosa a las 2h y prueba de la HbA1c (15). Debido a esto, es el apartado al cual se le ha dado mayor importancia en esta discusión, siendo por tanto notablemente más extenso que en el resto de las variables.

En los once ensayos en análisis, todos menos dos mejoraron al menos una de estas tres variables utilizadas(43–46,48–52).

-Yuan *et al.*(51), fue el único que mejoró las tres variables tanto en su grupo fuerza, como en su grupo de ejercicio aeróbico. Esto no es tan significativo, al solo haber cuatro estudios que midiesen las tres variables (43,46,47,51). Junto a los dos grupos de Yuan *et al.*(51), otros cuatro ensayos (44,45,50,52), mejoraron todas las variables glucémicas que midieron en cada uno de sus grupos intervención.

De vuelta a Yuan *et al.*(51), cabe destacar la importancia de este ensayo al ser el estudio con más participantes en cada grupo tanto control como intervención. Respecto a las mejoras en sus variables glucémicas, no se debe obviar el hecho de que la dieta que se proporcionó a cada uno de sus grupos propició unos resultados más favorables. Los también óptimos resultados glucémicos en Ryan *et al.*(44) secundan esta afirmación. Además de los de Gilbertson *et al.*(50), que mejoró en sus dos grupos en estudio, HIIT y EA, las variables glucémicas medidas. Siendo

ambos grupos receptores de unas clases de información nutricional, los resultados obtenidos de estos tres estudios muestran la importancia de la implantación de una correcta nutrición.

Junto a otros tres estudios realizados (43,44,47), Yuan *et al.*(51), llevó a cabo la duración más larga de tratamiento, 6 meses. Todos ellos menos Cheng *et al.*(47), obtuvieron resultados positivos en los niveles de glucosa en sangre, más abajo se dan unas posibles explicaciones para este resultado negativo.

Tanto el grupo de fuerza como el de ejercicio aeróbico de Yuan *et al.*(51), mejoraron por igual sus valores glucémicos sin haber diferencias significativas entre ellos, resultando ambos por tanto una buena opción para prevenir la DM2.

-Cheng *et al.*(47), como se ha expuesto anteriormente, no observó modificaciones en sus niveles de glucosa en sangre para su único grupo EA, esto puede deberse a un cúmulo de diferentes razones. Cheng *et al.*(47), fue el único estudio que presentaba una enfermedad complementaria a la prediabetes, todos los participantes presentaban la enfermedad del hígado graso no alcohólico lo que pudo interferir en sus resultados. Además, este estudio utilizó la marcha nórdica como método de tratamiento aeróbico, pudiendo ser insuficiente para producir mejoras, no es posible comparar la intensidad con la que se realizó el ejercicio al ser el único tipo de grupo con EA que estableció la intensidad con VO₂ max y no con FC max. Cheng *et al.*(47), fue junto a Marcus *et al.*(53), las únicas dos intervenciones que no obtuvieron ningún resultado positivo en las variables glucémicas, este último será comentado más adelante.

-Ryan *et al.*(44), realizó al igual que Cheng *et al.* (47) seis meses de ejercicio aeróbico en su grupo intervención, pero a diferencia de él, Ryan *et al.*(44), mejoró todas sus variables glucémicas. La intensidad del EA realizada en este estudio, fue la más alta de todos los ensayos con EA, esto, junto a la duración de la intervención pudo favorecer estos resultados. Sin embargo, pese a mejorar todas sus variables glucémicas medidas, no obtuvo diferencias significativas con su grupo control, al tener este al igual que su grupo intervención con EA una dieta de restricción calórica. Pese no haber diferencias en los niveles de glucosa en sangre de los grupos

de Ryan *et al.*(44), sí que los hubo en sus niveles insulínicos comentados más adelante.

-Como se ha mencionado anteriormente, Gilbertson *et al.*(50) fue una de las intervenciones que obtuvo mejoría en todas sus variables de glucosa, en este caso, ambos grupos (HIIT y EA) mejoraron al mismo nivel dichas variables. Pese a tener el porcentaje de FC max como intensidad de tratamiento más bajo de los EA con entre un 45 y un 55% de la FC max, esta intensidad pareció ser suficiente para producir mejoría en las variables glucémicas. La intensidad en su grupo de HIIT no es comparable a los otros grupos al medir la intensidad en pulsaciones por debajo de la FC max, siendo este el único grupo que determinó la intensidad de esta manera. Estos resultados parecen determinar que ambos tratamientos parecen ser igualmente efectivos para prevenir la DM2.

-Otro de los estudios que también obtuvo resultados favorables en todas sus medidas glucémicas fue Liu *et al.*(45), su único grupo de HIIT mejoró significativamente tanto la glucosa en ayunas como a las 2h. La intensidad de su tratamiento no es comparable a ningún otro tratamiento con HIIT al ser el único tratamiento con HIIT que estableció la intensidad con el porcentaje de VO₂ max. Sin embargo, parece que una intervención con HIIT a esta intensidad en hombres en un rango de edad de entre 20 y 60 años es suficiente sin la utilización de ningún tipo de dietas o consejo dietético para reducir los niveles de glucosa en sangre.

-La otra intervención que mejoró todas sus variables fue Alvarez *et al.*(52), su intervención combinada de fuerza y ejercicio aeróbico en mujeres con un rango de edad de entre 30 y 59 años fue suficiente para mejorar los niveles de glucosa en ayunas. En contra tiene que solo realizó la medición para una de las tres variables, la glucosa en ayunas.

Cabe destacar que todos los grupos de intervención comentados anteriormente de los cinco ensayos que obtuvieron mejoría en todas sus variables medidas (44,45,50–52), realizaron exclusivamente 3 días de intervención a la semana, excepto el grupo de fuerza de Yuan *et al.*(51), que fijó su tratamiento en 3 días a la semana a partir de la segunda-tercera semana de intervención.

-Como se ha expuesto anteriormente, Marcus et al.(53), fue junto a Cheng et al.(47), el único grupo que no mejoró ninguna de sus variables glucémicas. El hecho de que el tipo de ejercicio que realizó fuera de fuerza pero en una máquina excéntrica y con una progresión considerablemente lenta, además de ser el estudio con menor cantidad de participantes tanto en su grupo control como intervención, 6 y 10 respectivamente, pudo favorecer la no obtención de ningún resultado significativo en estas variables.

Además de los cinco estudios que mejoraron todas sus variables y los dos que no mejoraron ninguna, hubo cuatro estudios (43,46,48,49), que mejoraron unas variables glucémicas y otras no.

-Gilbertson et al.(48) realizó la intervención más corta de todas con 12 sesiones en 13 días de intervención, no obtuvo diferencias significativas para las variables glucémicas entre ninguno de sus dos grupos (HIIT y EA) pero en ambos se mejoró la los valores de la insulina a las 2h. Ninguno de los valores en ayunas mejoró. El único estudio que realizó la misma intensidad para el grupo de HIIT fue el grupo de HIIT+EF de Rowan et al.(46), este sin embargo añadió fuerza y mejoró las otras dos variables sin conseguir mejorar la glucosa en ayunas. La intensidad que utilizó el grupo EA de Gilbertson et al.(48), fue utilizada en el Grupo EA de Yuan et al.(51) y en el EA de Alvarez et al.(52), el no adherir dieta, o la diferencia en la duración de la intervención puede ser uno de los motivos por el cual Gilbertson et al.(48) no consiguió mejorar la glucosa en ayunas a diferencia de los otros dos.

-Rowan et al.(46), fue el único estudio que obtuvo junto a Eikenberg et al.(49) resultados diferentes entre sus grupos para las variables de glucosa. El grupo de HIIT más fuerza mejoró significativamente tanto la glucosa en ayunas como la HbA1c, el grupo de EA más fuerza por su parte tan solo mejoró la HbA1c. Sin embargo, bien por las pequeñas diferencias en las características principales al inicio de la intervención de los grupos o por otros motivos, no hubo diferencias significativas en la comparación de los resultados finales entre ambos grupos para ninguna de las variables.

- Como se ha comentado anteriormente, Eikenberg et al.(49), sí que obtuvo diferencias entre sus grupos, sin embargo, sus grupos eran diferentes fenotipos de

prediabetes y no diferentes tipos de ejercicio. Por lo tanto, los resultados obtenidos muestran como para un mismo tipo de ejercicio, los fenotipos IGT e IFG+IGT, sí que consiguen la reducción de la variable glucosa a las 2h a diferencia del IFG. Los diferentes tipos de resistencia insulínica que tienen entre si los tres fenotipos de prediabetes podrían tener algo que ver con estos resultados (15). Desconociéndose, sin embargo, los mecanismos fisiopatológicos que llevan a este resultado (49).

Por último, Savoye *et al.*(43), fue el estudio que presento los participantes con menor edad en un rango de entre 10 y 16 años. Debido a la edad de estos participantes el tipo de intervención elegida fue diferente al resto de estudios sin medir individualmente las variables utilizadas normalmente para determinar la intensidad (%FC max, VO₂ max, RM...). Esto junto a la propia edad de los participantes, hace difícil la comparación con cualquier otro estudio aunque si sirve para afirmar que la utilización de este tipo de ejercicios variados en niños de entre 10 y 16 años un tiempo mínimo de 6 meses dos veces a la semana puede ser interesante para reducir la glucosa a las 2h.

Como se ha dejado entrever, tanto las diferentes intensidades utilizadas en las diferentes intervenciones, así como la duración de las mismas o la implementación de dietas en algunas de ellas, hace difícil realizar una comparación de los diferentes tipos de ejercicios.

Tipos de ejercicio:

-HIIT: Tres estudios realizaron solo HIIT(45,48,50), los tres mejoraron al menos una variable de glucosa, y dos de ellos(45,50), mejoraron las dos variables que midieron. La diferencia principal entre estos dos y Gilbertson *et al.*(48), fue la duración de la intervención, 12 semanas para Liu *et al.*(45) y 16 semanas para Gilbertson *et al.*(50), frente a los 13 días de Gilbertson *et al.*(48), pudieron ser una de las responsables en esta diferencia. Los diferentes tipos de intensidad no son comparables al ser determinados con una variable diferente. Es interesante tener en cuenta el tipo de HIIT realizado por Liu *et al.*(45), ya que consiguió resultados parecidos a Gilbertson

et al.(50), en menos semanas de tratamiento y sin haber aportado clases de información nutricional a sus grupos.

-Fuerza: Hubo tres estudios que realizaron ejercicios de fuerza, Yuan *et al.*(51), mejoró las tres variables analizadas, Eikenberg *et al.*(49), mejoró solo la glucosa a las 2h y Marcus *et al.*(53), no mejoró ninguna. Como se ha comentado anteriormente, este último(53), no es muy representativo debido tanto a la cantidad de participantes así como el tipo y la intensidad del ejercicio. Por su parte los otros dos tienen un gran peso al ser el primer y segundo estudio con más participantes, la intensidad del ejercicio de fuerza así como la cantidad de ejercicios y repeticiones fue similar en ambos, los mejores resultados de Yuan *et al.*(51), pueden haber sido fruto tanto de la dieta aplicada en él, así como la mayor duración de la intervención, 6 meses 3 días a la semana frente a 12 semanas 2 días a la semana.

-Ejercicio aeróbico: Como se ha descrito anteriormente, cinco estudios(44,47,48,50,51), realizaron ejercicio aeróbico en alguno de sus grupos intervención, los dos estudios con mejores resultados fueron Yuan *et al.*(51) y Ryan *et al.*(44). Ambos estudios son comparables tanto en meses (6 meses) y días a la semana (3d/s), Yuan *et al.*(51) por su parte, realizó un ejercicio con menor intensidad pero sin embargo, consiguió mejorar las tres variables. Ryan *et al.*(44), mejoró dos y no midió la tercera. El número de participantes fue mayor en Yuan *et al.*(51), lo que le otorga mayor credibilidad. Ambos estudios proporcionaron dieta a sus participantes siendo este un posible motivo junto a la mayor duración en la intervención de la diferencia con los otros tres estudios(47,48,50). Ya ha sido comentado las particularidades de Cheng *et al.*(47), y el posible motivo por el cual sus resultados no fueron tan satisfactorios. Gilbertson *et al.*(48) por su parte, mejoró una variable menos que Gilbertson *et al.*(50), parece que la mayor duración de la intervención en Gilbertson *et al.*(50), es suficiente para igualar y superar a Gilbertson *et al.*(48) pese a la menor intensidad en su ejercicio aeróbico. Las clases nutricionales proporcionadas a los participantes de Gilbertson *et al.*(50) pudieron favorecer estas diferencias.

-Combinación de ejercicios: Un estudio realizó HIIT+EF(46), y dos EA+EF(46,52), los resultados de los dos estudios de EA+EF son de complicada comparación, al ser uno de 12 semanas (46), y otro de 20 semanas (52), pero sobre todo porque Alvarez *et al.*(52), mejora la única variable que mide (glucosa en ayunas), y Rowan *et al.*(46), no mejora la glucosa en ayunas pero si mejora la HbA1c, que Alvarez *et al.*(52) no mide. Entre el HIIT+EF y el EA+EF, para un mismo tipo de condiciones en Rowan *et al.*(46), el HIIT+EF sí que parece ser ligeramente superior al conseguir mejorar tanto la glucosa en ayunas como la HbA1c, frente a la única mejora de la HbA1c que obtuvo el EA+EF.

-A parte de la comparación realizada en Rowan *et al.*(46) de la suma de dos diferentes ejercicios entre sí, solo otros tres estudios (48,50,51), realizaron una comparación entre dos ejercicios diferentes. Ninguno de estos tres ensayos que analizaron dos tipos de ejercicio entre si obtuvo resultados significativamente diferentes entre sus grupos de estudio.

-Los ejercicios de alta intensidad para niños realizados en Savoye *et al.*(43), con una duración de 6 meses dos días a la semana fueron suficientes para mejorar al menos los valores de glucosa a las 2h. Se desconoce si una mayor intensidad u otro tipo de ejercicios hubiesen sido favorables en este rango de edad 10-16, al ser el único estudio analizado realizado en menores de edad.

Como se ha comentado anteriormente, así como 3 días de ejercicio a la semana parece la frecuencia de tratamiento con mejores resultados glucémicos, se observó en varios de los estudios analizados (45,46,49), como un mínimo de 12 semanas de tratamiento fueron suficientes para obtener buenos resultados en los niveles de glucosa. El resto de los estudios que mejoraron su glucemia menos Gilbertson *et al.*(48), que mejoró con 12 sesiones en 13 días de intervención, obtuvieron resultados positivos en los niveles de glucosa en sangre con intervenciones de duración mayor a 12 semanas(43,50–52).

5.2 Insulina en Sangre, HOMA y Matsuda.

Tanto la insulina en ayunas como a las 2h de OGTT fueron analizadas en diez de los diferentes estudios(43–51,53). Los diferentes modelos HOMA y el Matsuda Index, extraídos de los anteriores, sin embargo, fueron solamente calculados en siete de ellos (43,45–47,49–51).

-Liu *et al.*(45), analizó solo la insulina en ayunas, su único grupo de HIIT redujo con significación sus valores tras la intervención. El HOMA-%IR, también se redujo para la media de los participantes, significando esto, una reducción en los participantes de su resistencia a la insulina. Sin embargo, para la insulina en ayunas, hubo diferencias entre unos participantes y otros, ya que unos la mejoraron significativamente y otros no, creándose por tanto los subgrupos de respondedores y no respondedores al ejercicio. Estos subgrupos también obtuvieron diferencias significativas en el Matsuda Index, por lo que la sensibilidad a la insulina no parece mejorar en todos los sujetos a los que se les aplica en este caso HIIT.

-Gilbertson *et al.*(50) por su parte, midió solo la insulina en ayunas sin obtener resultados significativos para ninguno de sus dos grupos (HIIT y EA), así como tampoco obtuvo modificaciones en su HOMA-%IR. Sin embargo, como se ha comentado con anterioridad, sus valores glucémicos en ayunas sí que mejoraron.

Estos resultados, junto a los del grupo No respondedor de Liu *et al.*(45), reflejan como los valores de la glucosa e insulina no siempre tienen una relación directa proporcionada(15). Y el diferente efecto que el ejercicio tiene en la fisiología de cada individuo, puede hacer que situaciones como una mejora global en los valores glucémicos pero no insulínicos se den (45), desconociendo los mecanismos fisiológicos que hacen que esto ocurra.

-Siguiendo esta línea, en Yuan *et al.*(51), se observa cómo pese que para los dos grupos, EF y EA, se mejoró los valores de la glucosa en ayunas. Su única variable insulínica medida, la insulina en ayunas, no fue modificada. En cuanto a los valores del HOMA, el HOMA-%IR no se modificó significativamente, al contrario del HOMA-%B que sí que lo hizo. De esta manera, la mejora en los valores glucémicos podrían

venir explicadas por una mejora en la función de las células beta y la producción de insulina pese a una no modificación significativa en la resistencia a la insulina.

-En Rowan *et al.*(46), sin embargo, los valores insulínicos se encuentran relacionados en mayor medida con sus resultados glucémicos. En ambos grupos las dos variables para la insulina fueron medidas mejorando solo el valor de la insulina en ayunas para su grupo HIIT+EF, único grupo que mejoró esa variable. Así pues, ninguno mejoró los valores para la insulina o glucosa a las 2h. Además en ambos grupos se observó mediante tanto el HOMA-%B, como el -%S, como la función de las células beta aumentó significativamente en ambos grupos, reduciéndose en cambio la sensibilidad a la insulina. Tras estos resultados en el HOMA-S%, el estudio comenta como calculó el HOMA-IR% sin obtener modificaciones significativas.

Estos resultados de Rowan *et al.*(46) y Yuan *et al.*(51) en la función de las células beta en sujetos prediabéticos apoyan los descubrimientos previos de Malin *et al.*(54) obtenidos mediante ejercicio aeróbico, pero añaden el HIIT+EF, EA+EF y fuerza como posibles ejercicios para también mejorar esta función.

-Gilbertson *et al.*(48), redujo solo la insulina a las 2h para sus dos grupos (HIIT y EA), pero no la insulina en ayunas, manteniéndose por tanto una relación directa con sus resultados glucémicos.

-Ryan *et al.*(44), siguió esta relación mejorando tanto la glucosa y la insulina en ayunas como a las 2h tanto en el grupo control como en el intervención de EA, ambos con una dieta de restricción calórica. Sin embargo, en los valores insulínicos al contrario que en los glucémicos sí que hubo diferencias entre los grupos en estudio, al obtener el grupo con EA resultados significativamente mayores en la reducción de la insulina a las 2h que el grupo control.

-Marcus *et al.*(53) y Cheng *et al.*(47), también obtuvieron resultados insulínicos directamente relacionados con los glucémicos, al no modificar ninguno de ellos.

-Eikenberg *et al.*(49) por su parte, solo analizó los valores de matsuda index, sin obtener resultados significativos tanto en el total como para ninguno de sus grupos en los valores de la sensibilidad insulínica.

-Savoye *et al.*(43), redujo significativamente los dos valores insulínicos en comparación a su grupo control, así como su HOMA-%IR, reduciendo por tanto en los niños que realizaron el ejercicio de alta intensidad su resistencia a la insulina. Además fue junto a Liu *et al.*(45) los únicos dos estudios que consiguieron reducir significativamente la resistencia a la insulina o aumentar la sensibilidad a ella. Los hallazgos en Liu *et al.*(45), de los subgrupos respondedores y no respondedores, podrían explicar cómo, los otros cinco estudios que analizaron estas variables, no consiguieron mediante ninguno de los ejercicios modificar bien la sensibilidad o la resistencia a la insulina(46,47,49–51).

5.3 Composición Corporal

En relación a la composición corporal, pese a la recogida de datos de más variables, se dará importancia principalmente al peso, al porcentaje graso y magro, y a la masa grasa y magra, ya que el resto de variables recogidas están directamente relacionadas a ellas. Aquellas relevantes, también serán comentadas.

Liu *et al.*(45), consiguió mediante su ejercicio de HIIT, reducir tanto el peso como el porcentaje graso corporal y aumentar el porcentaje magro. Liu *et al.*(45), a diferencia de los otros 6 estudios que también midieron tanto la grasa corporal como el músculo(44,47–50,52), es en el único en el cual no se puede determinar si se produjo bien una recomposición corporal (aumentar la masa muscular y disminuir el porcentaje graso), una disminución de la grasa corporal notablemente superior a la modificación magra o un aumento magro notablemente superior a la modificación grasa. Esto se debe a que fue el único que realizó tanto la medición de la grasa como del músculo en porcentajes.

Gilbertson *et al.*(48), redujo su peso corporal en ambos grupos, sin embargo lo hizo a costa de su masa magra, ya que su masa grasa no se modificó y su masa magra se redujo significativamente en ambos grupos sin diferencias entre ellos, esto puede ser explicado por la alta frecuencia dada en esta intervención que pudo provocar un daño superior a la síntesis muscular.

Gilbertson *et al.*(50), redujo el peso corporal y la masa grasa en ambos grupos, con mayor significación en el grupo EA que en el HIIT. A diferencia de Gilbertson *et al.*(48), esta reducción en el peso corporal no fue a costa de la masa magra ya que esta no obtuvo modificaciones en ningún grupo. Estos resultados van en concordancia con los resultados dados en Liu *et al.*(45).

Tanto en el grupo HIIT+EF como en el EA+EF de Rowan *et al.*(46), no se obtuvieron modificaciones significativamente relevantes tanto en el peso como en la grasa corporal, sin embargo, sí que al menos tuvo que haber modificaciones a nivel de la cintura con una disminución de la masa grasa ya que la circunferencia de la cintura disminuyó en ambos grupos. La falta de medición de las variables magras en este estudio, hace difícil comparar sus resultados en cuanto a la composición corporal con el EA+EF de Alvarez *et al.*(52).

La media total de los sujetos participantes en Eikenberg *et al.*(49), aumentó su masa muscular y redujo su porcentaje graso, sin embargo, hubo diferencias significativas entre sus fenotipos. Tanto el grupo IFG, como el IFG/IGT, redujeron significativamente su porcentaje graso así como aumentaron la ganancia magra. Sin embargo, el fenotipo IGT, no obtuvo modificaciones significativas en ninguna de las anteriores variables.

Es importante resaltar como pese a no mejorar estas variables, en cuanto a la glucemia se refiere, los resultados son completamente opuestos, ya que el fenotipo IGT sí que mejoró la glucemia, a diferencia del IFG que no obtuvo resultados significativos. Se desconocen los mecanismos que dieron lugar a la variabilidad de estos resultados.

Marcus *et al.*(53), aumentó significativamente la masa magra de la extremidad inferior, sin embargo no obtuvo resultados significativos a nivel abdominal subcutáneo. Estos resultados junto a los de Eikenberg *et al.*(49) y los resultados previos obtenidos por Malin *et al.*(55,56)(excluido de la revisión por no ser randomizado) que además añade ejercicio aeróbico, reflejan como el ejercicio de fuerza o su combinación con otro, son las únicas formas de ejercicio que realizadas en prediabéticos hayan conseguido un aumento de la masa muscular.

Alvarez *et al.*(52), redujo significativamente tanto el peso corporal como el porcentaje graso, sin obtener modificaciones en la masa magra total, esto deja entre ver, como la adhesión de fuerza en una intervención, no asegura siempre el aumento de la masa muscular. Pudiendo esto estar determinado por la intensidad del ejercicio de fuerza, la intensidad de su ejercicio complementario o los hábitos nutricionales entre otros motivos.

Ryan *et al.*(44) por su parte, redujo significativamente tanto en el grupo control como en el EA sin diferencias entre ellos, el peso corporal y la masa grasa. Sin embargo esta reducción también se produjo al igual que en Gilbertson *et al.*(48), en la masa magra. Estos resultados pueden ser explicados por la restricción calórica dada en la dieta que ambos grupos de Ryan *et al.*(44) siguieron. Esto apoyado por Gilbertson *et al.*(48), refleja como una mejora en los niveles de glucosa es posible en prediabéticos incluso con una pérdida de masa muscular.

Cheng *et al.*(47) en cambio, con sus resultados significativamente favorables tanto de reducción del peso corporal como de las dos variables adiposas (%G, MG) en comparación a su grupo control, refleja como una disminución del peso y grasa corporal no conlleva siempre una reducción de las variables glucémicas.

Yuan *et al.*(51), disminuyó su peso corporal en ambos grupos sin diferencias significativas entre ellos. Se desconoce, si esa pérdida de peso fue a costa de una pérdida de masa muscular como en los dos artículos comentados anteriormente (44,48), o en cambio fue producida por una pérdida grasa. Al no especificarse si la dieta era eucalórica, hipercalórica o hipocalórica, es imposible realizar una hipótesis en referencia a las modificaciones en la composición corporal de este estudio.

El ejercicio de alta intensidad de Savoye *et al.*(43) en niños, hizo que el peso corporal y masa grasa total se redujera significativamente. Los consejos nutricionales aportados por los investigadores pudieron favorecer estos resultados.

5.4 Colesterol Total y Triglicéridos

Los estudios llevados a cabo por Liu *et al.*(45) y Alvarez *et al.*(52) mostraron ser capaces de reducir significativamente tanto los niveles de colesterol total como de

triglicéridos a sus participantes de sus únicos grupos intervención, HIIT y EF+EA respectivamente. Estos están en relación con sus resultados favorables en la pérdida de grasa corporal.

Sin embargo, Yuan *et al.*(51) y Cheng *et al.*(47), no obtuvieron modificaciones significativas para ninguno de sus grupos en ninguna de estas variables, desconociéndose el motivo. Obteniéndolos ambos sin embargo en sus variables adiposas.

Savoye *et al.*(43) por su parte, redujo los valores de los triglicéridos en comparación con su grupo control, pero no del colesterol total. Se desconoce la razón por la cual en este caso, una variable mejoró pero la otra no.

5.5 Adherencia

De los once ensayos en estudio, solo 4 comparaban diferentes tipos de ejercicio entre sí(46,48,50,51). Para los estudios que comparaban HIIT con EA, los resultados en términos de asistencia y abandono fueron más negativos para el HIIT, con un 96,5% de asistencia del HIIT frente a un 99,3% del EA en Gilbertson *et al.*(48), y 11 abandonos en el HIIT frente a 3 en el EA en Gilbertson *et al.*(50).

En Yuan *et al.*(51), que se comparaba el EF con el EA, no se obtuvieron diferencias de asistencia al igual que en Rowan *et al.*(46) que no registró diferencias de asistencia en sus grupos HIIT+EF y EA+EF.

Esto refleja como el HIIT, parece obtener ligeramente menor adherencia que el EA. Las diferentes intensidades que en estos ejercicios se dan, y el diferente nivel de fatiga que estos ejercicios crean puede ser uno de los motivos por el cual se de esta ligera diferencia.

6. LIMITACIONES

En la realización de esta revisión se han encontrado diferentes aspectos limitantes a destacar.

En relación a la participación, gran parte de los estudios han presentado un bajo número de participantes, lo que le aporta a la revisión una menor fiabilidad estadística. Además, debido a los criterios de inclusión de algunos de los estudios, los participantes adheridos a estos estudios, no incluían todos los fenotipos de prediabetes. Pudiendo provocarse que la proporción de cada uno de los diferentes fenotipos en los estudios sea diferente, así como sus características fisiológicas, y de tal manera condicionar los resultados.

Hay mucha disparidad entre estudios en la forma de determinar la intensidad de la intervención, lo que hace complicado llegar a conclusiones y comparar unos estudios con otros. A esto hay que sumar tanto la presencia o no de dietas en los diferentes estudios como el tipo de dieta, factores que intervienen directamente en las variables medidas en esta revisión. Además en alguna ocasión los estudios no especifican el modo de realización del ejercicio o si se aportó alguna dieta o información nutricional.

La no existencia de una Diferencia Mínima Clínicamente Importante (DMCI) para medidas de la tolerancia a la glucosa, hace difícil determinar si una intervención está aportando un beneficio glucémico, así como comparar las diferentes intervenciones entre sí (41).

7. CONCLUSIONES

1. No hay suficiente evidencia científica para determinar el mejor tipo de ejercicio que consiga disminuir los niveles de glucosa en sangre en sujetos prediabéticos. Sin embargo, todos los protocolos de ejercicio examinados han demostrado ser capaces de mejorar estos niveles.
2. El ejercicio es capaz de mejorar la función de las células beta en sujetos prediabéticos.
3. Tres días de ejercicio a la semana y un mínimo de 12 semanas son frecuencias suficientes en los diferentes métodos de entrenamiento para mejorar los niveles de glucosa en sujetos prediabéticos.
4. Los estudios analizados muestran como el ejercicio de fuerza fue el único que consiguió con seguridad aumentar los niveles de masa muscular en sujetos prediabéticos.
5. Los sujetos prediabéticos presentaron un menor nivel de adherencia al HIIT que al EA.
6. La combinación del ejercicio junto a un correcto asesoramiento nutricional consigue una mayor disminución de la glucemia en sujetos prediabéticos.

8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

8.1 Introducción

Como se ha comentado al inicio de este trabajo, aquellos sujetos que se encuentran entre los valores de normoglucemia y diabetes son denominados como prediabéticos (3).

Estos rangos son dados a través de tres criterios diagnósticos, la prueba de la hemoglobina glicosilada o HbA_{1c}, y el test de glucosa en ayunas(3).

Tabla 9. Diagnóstico de Prediabetes. (Información Obtenida de Rett y GOTTWALD *et al.*(57))

Criterion	ADA	WHO	IDF
Terminology	Prediabetes	Intermediate hyperglycemia	Impaired glucose tolerance
IGT	7.8–11.0 mmol/L (140–199 mg/dL)		
IFG	5.6–6.9 mmol/L (100–125 mg/dL)	6.1–6.9 mmol/L (110–125 mg/dL)	
HbA _{1c}	5.7–6.4% (39–47 mmol/mol)	ND	

Sin embargo como la prediabetes no es una enfermedad como tal, sino una condición con factor de riesgo de diabetes, según el criterio diagnóstico que se utilice, a esta condición se le denomina de una manera u otra (3).

Se le denomina IGT por sus siglas en inglés *Impaired Glucose Tolerance* si se utiliza la prueba del test de tolerancia oral a la glucosa a las 2h o se le denomina IFG por sus siglas en inglés *Impaired Fasting Glucose* si utiliza el test de glucosa en ayunas. Ambos siendo fenotipos diferentes de prediabetes. Se pueden presentar los dos tanto por separado como juntos(15).

Cuando un sujeto se encuentra en estos rangos glucémicos, daños y síntomas propios de la diabetes pueden darse complicaciones, estados menores y riesgo de desarrollo de nefropatías, enfermedad renal crónica, neuropatías y retinopatías diabéticas y enfermedades macro vasculares (15,58).

El incremento de la actividad física y la mejora en los hábitos nutricionales, está recomendada como la primera línea de intervención de la prediabetes (57).

Numerosos estudios han llevado a cabo este tipo de intervenciones, todos ellos obteniendo resultados positivos con disminuciones tanto de la glucemia como del riesgo de progresión a diabetes (22–34).

Varias revisiones sistemáticas han analizado ya este tipo de intervenciones sin supervisión, sin embargo, tras el análisis de las revisiones publicadas acerca del estado actual de este tema, se hace patente la falta de evidencia científica en relación al tipo de ejercicio que mejores resultados obtiene en la condición prediabética.

8.2 Justificación

Tras el análisis de la bibliografía y realización de la revisión, se ha observado como el ejercicio físico como método de tratamiento de la prediabetes ha sido utilizado en diferente tipo de formas.

El HIIT, el ejercicio aeróbico y el ejercicio de fuerza han sido utilizados tanto de forma individual, como combinados en el caso del HIIT+EF y el EA+EF, para tratar esta condición. Además de ejercicios de alta intensidad no especificados en niños prediabéticos. Todos ellos consiguiendo reducir los niveles de glucosa en sangre en sujetos prediabéticos.

Sin embargo, ninguno de ellos parece ser que destaque entre los demás a la hora de mejorar las variables glucémicas.

Pese a que no haya diferencias en los niveles de glucemia, sí que las hay en relación a otras variables. El ejercicio de fuerza parece la mejor alternativa para aumentar la masa muscular en los sujetos prediabéticos, y el ejercicio aeróbico, por su parte obtiene unos mejores resultados de participación y adherencia que el HIIT.

En una población (prediabéticos) caracterizada entre otras cosas por los altos niveles de sedentarismo, la elección del tipo de ejercicio en base a la adherencia que crea, y no solo a los resultados que obtiene se hace necesaria.

Además del sedentarismo que caracteriza a la población prediabética, la obesidad suele acompañar a esta condición. La ganancia de masa muscular con el fin de mejorar la calidad de vida en este tipo de sujetos es de gran importancia.

Por ello y teniendo en cuenta que todos los ejercicios obtienen buenos resultados glucémicos, la intervención mediante un ejercicio que combine ejercicio aeróbico con ejercicio de fuerza parece una óptima elección en este tipo de población.

8.3 Hipótesis

Un programa de entrenamiento combinado de ejercicio aeróbico y fuerza, desarrollado en base a los mejores resultados obtenidos en la revisión, disminuirá los niveles de glucemia, mejorará las variables insulínicas, la calidad de vida, la composición corporal y creará adherencia en los sujetos prediabéticos que lo realicen.

8.4 Objetivos de la Intervención

El objetivo principal de la intervención es realizar un programa de ejercicio físico bajo supervisión que sirva como modelo de tratamiento en sujetos prediabéticos adultos.

Objetivos secundarios:

1. Normalizar la glucemia de los sujetos que participen en el programa.
2. Mejorar las variables insulínicas de los sujetos que participen en el programa.
3. Mejorar la calidad de vida de los sujetos que participen en el programa.
4. Crear adherencia al programa.
5. Mejorar la composición corporal de los sujetos que participen en el programa.

8.5 Material y Métodos

8.5.1 Diseño de la intervención

Se llevará a cabo un Ensayo Clínico Aleatorizado de seis meses de duración (77 sesiones), en el cual 160 participantes serán divididos aleatoriamente en una proporción 1:1 (80 Intervención, 80 Control) al grupo intervención y control respectivamente.

El tamaño muestral del presente estudio se ha establecido mediante el programa Epidat 4.2 (Servicio Gallego de Salud, Consejería de Salud de Galicia) con un nivel de confianza del 95% y una precisión bilateral del 5% para la variable principal del estudio (glucemia en ayunas). Los resultados que se obtienen tras aplicar el programa Epidat nos indican que será necesario reclutar 80 pacientes por cada grupo experimental para observar una disminución en la glucemia que haga que los pacientes pre-diabéticos sean considerados normoglucémicos (glucemia por debajo de 100mg/dl en ayunas).

La creación del grupo control se realizará con el fin de comparar los resultados y asegurar una mayor fiabilidad estadística.

El grupo intervención llevará a cabo la combinación de ejercicio aeróbico con ejercicio de fuerza, el grupo control por su parte, no realizará ningún tipo de ejercicio físico.

El grupo intervención obtendrá una modelo de dieta saludable común a todos los participantes, pero con un aporte calórico personalizado por un nutricionista en base a las características de cada participante.

Los sujetos ingresarán en la intervención por grupos de 10, creándose así 8 subgrupos que acudirán a horarios diferentes para poder asegurar una mayor comodidad y un tratamiento más individualizado. Como queda reflejado en la Tabla 12 del anexo.

Si los participantes no acuden al menos al 80% de las sesiones (62 sesiones), serán excluidos del estudio.

8.5.2 Selección de participantes

La selección de los participantes será realizada desde los diferentes centros de salud. Cuando en los diferentes cribados que estos centros de salud realicen, un sujeto cumpla los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

- Los sujetos en estudio serán hombres y mujeres.
- Los sujetos comprenderán una edad entre 18 y 70 años
- Los sujetos deberán de cumplir al menos uno de los criterios diagnósticos de prediabetes establecidos por la ADA: HbA1c (5,7-6,4%), glucosa plasmática en ayunas (100mg/dl[5,6mmol]-125mg/dl[6,9mmol/l]), test de tolerancia oral a la glucosa(140 mg/dl[7,8mmol/l]-199 mg/dl[11,0mmol/l]).

Criterios de exclusión:

- Sujetos que por alguna condición tengan contraindicado la realización de ejercicio físico.
- Sujetos que realicen o hayan realizado algún tipo de régimen de ejercicio estructurado en los últimos 6 meses.
- Enfermedad cardiovascular, renal o afectaciones musculoesqueléticas.
- Diabetes Tipo 2 o Tipo 1.

8.5.3 Aleatorización, enmascaramiento y cegamiento.

El personal de los centros de salud encargado de realizar la selección de los participantes, no conocerán a que grupo pertenecerán los participantes. Los participantes serán aleatorizados a un grupo u otro mediante un programa para que el reparto entre grupos sea proporcional tanto en sexo como en edad.

El entrenamiento del grupo intervención será supervisado por profesionales ajenos al proceso de selección de los pacientes, así como a la recogida y análisis de datos de las variables de medida. Tanto las personas que recojan las variables como las

que las analicen desconocerán a que grupo pertenece cada sujeto. Todo ello con el fin de asegurar un cegamiento y la calidad de la intervención.

8.5.4 Variables de medida.

Se realizarán la medición de las siguientes variables al inicio de la intervención, a los tres meses y al final de la intervención.

-Tanto la Glucosa en Ayunas, como la glucosa a las 2h, será obtenida mediante un glucómetro conforme a las reglas establecidas por la ADA(3).

-El test de la hemoglobina glicosilada o HbA1c ha de ser realizado en un laboratorio usando el método que la NGSP ha certificado y estandarizado en base al ensayo DCCT(3).

-Tanto la Insulina en Ayunas como la Insulina a las 2h serán obtenidas a través de una muestra sanguínea conforme a las reglas establecidas por la ADA(3).

-Tanto el %Graso y Magro corporal, como la masa grasa y magra (kg), el peso o el IMC, será medido a través de un monitor de composición corporal profesional por segmentos multifrecuencia.

La HOMA-%IR, -%S y -%β, serán calculadas a partir de los resultados obtenidos en las variables glucémicas e insulínicas.

8.5.5 Prescripción de la intensidad

Ya que la intensidad será prescrita a partir del % Frecuencia Cardiaca máxima en el ejercicio aeróbico y el %1RM en el ejercicio de fuerza, una sesión previa al inicio de la intervención será realizada con el fin de evaluar estas intensidades.

Ejercicio aeróbico:

La intensidad de tratamiento del ejercicio aeróbico, será dada a partir del método Karvonen(59), el cuál utiliza la siguiente fórmula para proponer la intensidad.

$$FC \text{ esperada} = [(FC \text{ max} - FC \text{ reposo}) \times \% \text{trabajo}] + FC \text{ reposo}$$

La frecuencia cardiaca máxima será determinada mediante la fórmula de Tanaka(60).

$$FC_{max} = 208 - (0,7 \times edad)$$

La frecuencia cardiaca en reposo será obtenida a partir de 10 minutos de descanso en decúbito supino como se recomienda en Heyward y Gibson *et al.*(61).

Ejercicio de fuerza:

En cuanto a la obtención de la 1RM para determinar la intensidad de tratamiento, al tratarse de sujetos no entrenados y por tanto no familiarizados con el entrenamiento, no se evaluará la 1RM de la manera convencional, y se utilizará la siguiente fórmula descrita por Bryzcki(1993)(62).

$$1RM = 100 \times kg / (102,78 - 2,78 \times repeticiones)$$

Esta fórmula será aplicada para determinar la intensidad en cada uno de los ejercicios de fuerza propuestos. Se deberá por tanto realizar una aproximación de repeticiones al fallo de en torno a 3-6 repeticiones. Cuando se llegue al fallo, se apuntará los kg y el número de repeticiones realizadas para poder ser utilizados mediante la fórmula.

8.5.6 Intervención

Se llevará a cabo una semana no incluida en la intervención (“semana cero”) de 3 sesiones separadas entre sí, la primera sesión servirá para evaluar las intensidades necesarias en cada uno de los diferentes ejercicios. Representado en el cronograma de la intervención al final de este apartado, Tabla 11.

Las dos sesiones siguientes serán utilizadas como sesiones de familiarización con los ejercicios de resistencia, en ellas, el fisioterapeuta asignado a la intervención, explicará la técnica y manera de realización de todos los ejercicios a cada uno de los subgrupos, así como el protocolo de entrenamiento que los participantes van a llevar a cabo a lo largo de los 6 meses de intervención.

Todos los subgrupos realizarán tres días de ejercicio alternos (lunes/miércoles/viernes), con 5 minutos de calentamiento, 20-30 minutos de ejercicio

aeróbico, seguidos de 30 minutos de ejercicio de fuerza. Finalizando con 5 minutos de estiramientos como método de enfriamiento (ver Figura 3).

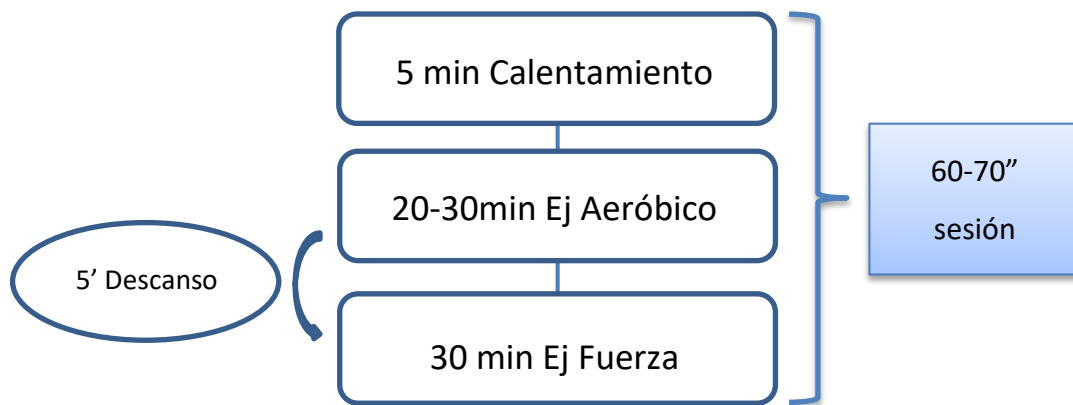


Figura 3. Composición de un día de intervención. Elaboración propia.

Calentamiento:

Se llevarán a cabo movilizaciones activas de tipo balístico tanto en extremidades inferiores (Figuras 17,18 y 19, en el Anexo) como superiores (Figuras 20,21 y 22, en el Anexo), así como movimientos analíticos simples de muñeca tobillo y rodillas (Figuras 23 y 24, en el Anexo), con el fin de evitar lesiones durante el posterior entrenamiento.

Ejercicio aeróbico:

Se llevará a cabo mediante cicloergómetro, elíptica o cinta de correr, alternando cada día de la semana por cada uno de los tres ejercicios, ver en las Figuras 13, 14 y 15 respectivamente al final, en el Anexo. El ejercicio será realizado a una intensidad del 70% de la FC max, tanto la velocidad en la cinta de correr como la resistencia en la elíptica y el cicloergómetro serán modificados según la progresión y acomodamiento del sujeto, asegurando así una intensidad del 70%FC máx. El primer mes se llevará a cabo 20 minutos de ejercicio aeróbico, progresando dos minutos y medio al mes hasta llegar a los 30 minutos en el 4 mes. Del 4 mes hasta el final se realizarán 30 minutos de EA. Ver en la Tabla 10.

Tabla 10. Progresión ejercicio aeróbico. Elaboración propia.

MESES	1	2	3	4	5	6
Minutos de ejercicio aeróbico	20'	22'30"	25'	27'30"	30'	30'

La intensidad del ejercicio será monitorizado mediante un pulsómetro de pecho.

Ejercicio de fuerza:

El ejercicio de fuerza será realizado tras los 5 minutos de descanso posteriores al ejercicio aeróbico. Se realizará una serie de entre 8 -12 repeticiones con una correcta técnica para cada uno de los siguientes 9 ejercicios; *press* de banca con mancuerna(Figura 4, en el Anexo), máquina de pectoral(Figura 7, en el Anexo), *press* militar con mancuerna (Figura 5, en el Anexo), elevaciones laterales(Figura 16, en el Anexo), jalón al pecho (Figura 8, en el Anexo), remo con mancuerna(Figura 6, en el Anexo), prensa de pierna(Figura 9, en el Anexo), extensión de cuádriceps(Figura 11, en el Anexo) y *curl* femoral(Figura 10, en el Anexo).

La técnica ha de ser de 3" en la fase concéntrica y 3" en la fase excéntrica tanto en los ejercicios de peso libre como aquellos con polea. Un décimo ejercicio será realizado isométricamente.

Si en dos sesiones consecutivas se llega a 12 repeticiones, en la siguiente sesión se aumentará 2,5 kg en cada mancuerna, en los ejercicios de peso libre y 10 libras (4,535kg) en los ejercicios que consten de polea.

Habrà un décimo ejercicio, que consistirá en la realización de una plancha abdominal para trabajar el *core*. Esta durará inicialmente 30 segundos, dicha duración irá aumentando tanto en función de las sensaciones que el sujeto presente o como en función de la interpretación que haga el fisioterapeuta de la fatiga del sujeto. Ver en la figura 12 del anexo.

Los 10 ejercicios serán realizados alternándose entre sí de manera rotatoria entre los 10 participantes de cada subgrupo. Habrá 2 minutos de descanso entre cada ejercicio.

Tabla 11. Cronograma de la intervención (Elaboración propia).

Tareas	2021			2022						
	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Reclutamiento										
Medición de Variables										
Semana “Cero”										
Intervención										
Análisis de los resultados										

8.6 Análisis estadístico de los resultados.

Una vez los 6 meses de protocolo hayan sido realizados, se analizarán y compararan los resultados de las diferentes variables recogidas. Se realizará una comparación del tipo “intención de tratar” en aquellos participantes que no cumpliesen al menos el 80% de asistencia a la intervención (62 sesiones).

La normalidad de la distribución de los datos que se obtengan será evaluada mediante un análisis utilizando el test estadístico Kolmogorov and Smirnov (tanto al inicio, como a los 3 y 6 meses de la intervención). Los datos iniciales y a lo largo del estudio serán comparados mediante un análisis utilizando el estadístico T-Student.

La significación estadística será definida con un p valor $<0,05$.

Se usará el programa informático estadístico SPSS en su última versión “IBM SPSS Statistics 28”.

9. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer la ayuda aportada por mi tutor, Miguel Barajas, en la realización de este TFG. Sus consejos y correcciones, así como su total y rápida disponibilidad, incluso en periodo vacacional, me han facilitado la elaboración de este trabajo.

Por otra parte, quisiera agradecer a mi familia por todo el apoyo que me han ofrecido durante estos últimos cuatro años, así como por permitirme continuar formándome los próximos años.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Guthrie RA, Guthrie DW. Pathophysiology of diabetes mellitus. Crit Care Nurs Q. junio de 2004;27(2):113-25.
2. Ahmad SI. Diabetes: an Old Disease, a New Insight [Internet]. Diabetes : an old disease, a new insight / edited by Shamim I. Ahmad. New York, NY: Springer; 2013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-5441-0>
3. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. Diabetes Care. enero de 2013;36 Suppl 1:S67-74.
4. Coustan DR. Gestational diabetes mellitus. Clin Chem. septiembre de 2013;59(9):1310-21.
5. Szmuiłowicz ED, Josefson JL, Metzger BE. Gestational Diabetes Mellitus. Endocrinol Metab Clin North Am. septiembre de 2019;48(3):479-93.
6. Anik A, Çatlı G, Abacı A, Böber E. Maturity-onset diabetes of the young (MODY): an update. J Pediatr Endocrinol Metab JPEM. marzo de 2015;28(3-4):251-63.
7. Maahs DM, West NA, Lawrence JM, Mayer-Davis EJ. Epidemiology of type 1 diabetes. Endocrinol Metab Clin North Am. septiembre de 2010;39(3):481-97.
8. Saeedi P, Petersohn I, Salpea P, Malanda B, Karuranga S, Unwin N, et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. Diabetes Res Clin Pract. 1 de noviembre de 2019;157:107843.
9. Lu X, Zhao C. Exercise and Type 1 Diabetes. En: Xiao J, editor. Physical Exercise for Human Health [Internet]. Singapore: Springer; 2020 [citado 3 de abril de 2021]. p. 107-21. (Advances in Experimental Medicine and Biology). Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_7
10. Kerner W, Brückel J, German Diabetes Association. Definition, classification and diagnosis of diabetes mellitus. Exp Clin Endocrinol Diabetes Off J Ger Soc Endocrinol Ger Diabetes Assoc. julio de 2014;122(7):384-6.
11. Tan SY, Mei Wong JL, Sim YJ, Wong SS, Mohamed Elhassan SA, Tan SH, et al. Type 1 and 2 diabetes mellitus: A review on current treatment approach and gene therapy as potential intervention. Diabetes Metab Syndr. febrero de 2019;13(1):364-72.
12. Kirwan JP, Sacks J, Nieuwoudt S. The essential role of exercise in the management of type 2 diabetes. Cleve Clin J Med. julio de 2017;84(7 Suppl 1):S15-21.
13. Mellitus* TEC on the D and C of D. Report of the Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Diabetes Care. 1 de julio de 1997;20(7):1183-97.
14. Genuth S, Alberti KGMM, Bennett P, Buse J, DeFronzo R, Kahn R, et al. Follow-up report on the diagnosis of diabetes mellitus. Diabetes Care. noviembre de 2003;26(11):3160-7.

15. Tabák AG, Herder C, Rathmann W, Brunner EJ, Kivimäki M. Prediabetes: a high-risk state for diabetes development. *Lancet Lond Engl*. 16 de junio de 2012;379(9833):2279-90.
16. Khetan AK, Rajagopalan S. Prediabetes. *Can J Cardiol*. 1 de mayo de 2018;34(5):615-23.
17. Danaei G, Finucane MM, Lu Y, Singh GM, Cowan MJ, Paciorek CJ, et al. National, regional, and global trends in fasting plasma glucose and diabetes prevalence since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 370 country-years and 2·7 million participants. *Lancet Lond Engl*. 2 de julio de 2011;378(9785):31-40.
18. Cowie CC, Rust KF, Ford ES, Eberhardt MS, Byrd-Holt DD, Li C, et al. Full accounting of diabetes and pre-diabetes in the U.S. population in 1988-1994 and 2005-2006. *Diabetes Care*. febrero de 2009;32(2):287-94.
19. Sattar N, McConnachie A, Ford I, Gaw A, Cleland SJ, Forouhi NG, et al. Serial metabolic measurements and conversion to type 2 diabetes in the west of Scotland coronary prevention study: specific elevations in alanine aminotransferase and triglycerides suggest hepatic fat accumulation as a potential contributing factor. *Diabetes*. abril de 2007;56(4):984-91.
20. Ferrannini E, Nannipieri M, Williams K, Gonzales C, Haffner SM, Stern MP. Mode of onset of type 2 diabetes from normal or impaired glucose tolerance. *Diabetes*. enero de 2004;53(1):160-5.
21. Mason CC, Hanson RL, Knowler WC. Progression to type 2 diabetes characterized by moderate then rapid glucose increases. *Diabetes*. agosto de 2007;56(8):2054-61.
22. Lindström J, Louheranta A, Mannelin M, Rastas M, Salminen V, Eriksson J, et al. The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS): Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity. *Diabetes Care*. diciembre de 2003;26(12):3230-6.
23. Florez H, Pan Q, Ackermann RT, Marrero DG, Barrett-Connor E, Delahanty L, et al. Impact of lifestyle intervention and metformin on health-related quality of life: the diabetes prevention program randomized trial. *J Gen Intern Med*. diciembre de 2012;27(12):1594-601.
24. Pan XR, Li GW, Hu YH, Wang JX, Yang WY, An ZX, et al. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes Care*. abril de 1997;20(4):537-44.
25. Mensink M, Feskens EJM, Saris WHM, De Bruin TWA, Blaak EE. Study on Lifestyle Intervention and Impaired Glucose Tolerance Maastricht (SLIM): preliminary results after one year. *Int J Obes Relat Metab Disord J Int Assoc Study Obes*. marzo de 2003;27(3):377-84.
26. Eriksson J, Lindström J, Valle T, Aunola S, Hämäläinen H, Ilanne-Parikka P, et al. Prevention of Type II diabetes in subjects with impaired glucose tolerance: the Diabetes Prevention Study (DPS) in Finland. Study design and 1-year interim report on the feasibility of the lifestyle intervention programme. *Diabetologia*. julio de 1999;42(7):793-801.

27. Penn L, Moffatt SM, White M. Participants' perspective on maintaining behaviour change: a qualitative study within the European Diabetes Prevention Study. *BMC Public Health*. 10 de julio de 2008;8:235.
28. Hellgren MI, Larsson CA, Daka B, Petzold M, Jansson P-A, Lindblad U. C-Reactive Protein Concentrations and Level of Physical Activity in Men and Women With Normal and Impaired Glucose Tolerance. A Cross-Sectional Population-Based Study in Sweden. *J Phys Act Health*. junio de 2016;13(6):625-31.
29. Katula JA, Vitolins MZ, Rosenberger EL, Blackwell CS, Morgan TM, Lawlor MS, et al. One-year results of a community-based translation of the Diabetes Prevention Program: Healthy-Living Partnerships to Prevent Diabetes (HELP PD) Project. *Diabetes Care*. julio de 2011;34(7):1451-7.
30. Ramachandran A, Snehalatha C, Mary S, Mukesh B, Bhaskar AD, Vijay V, et al. The Indian Diabetes Prevention Programme shows that lifestyle modification and metformin prevent type 2 diabetes in Asian Indian subjects with impaired glucose tolerance (IDPP-1). *Diabetologia*. febrero de 2006;49(2):289-97.
31. Sakane N, Sato J, Tsushita K, Tsujii S, Kotani K, Tsuzaki K, et al. Prevention of type 2 diabetes in a primary healthcare setting: three-year results of lifestyle intervention in Japanese subjects with impaired glucose tolerance. *BMC Public Health*. 17 de enero de 2011;11(1):40.
32. Kosaka K, Noda M, Kuzuya T. Prevention of type 2 diabetes by lifestyle intervention: a Japanese trial in IGT males. *Diabetes Res Clin Pract*. febrero de 2005;67(2):152-62.
33. Oldroyd JC, Unwin NC, White M, Mathers JC, Alberti KGMM. Randomised controlled trial evaluating lifestyle interventions in people with impaired glucose tolerance. *Diabetes Res Clin Pract*. mayo de 2006;72(2):117-27.
34. Ros E. The PREDIMED study. *Endocrinol Diabetes Nutr*. febrero de 2017;64(2):63-6.
35. Uusitupa M, Khan TA, Viguiliouk E, Kahleova H, Rivellese AA, Hermansen K, et al. Prevention of Type 2 Diabetes by Lifestyle Changes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 1 de noviembre de 2019;11(11):E2611.
36. Hemmingsen B, Gimenez-Perez G, Mauricio D, Roqué I Figuls M, Metzendorf M-I, Richter B. Diet, physical activity or both for prevention or delay of type 2 diabetes mellitus and its associated complications in people at increased risk of developing type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database Syst Rev*. 4 de diciembre de 2017;12:CD003054.
37. Kerrison G, Gillis RB, Jiwani SI, Alzahrani Q, Kok S, Harding SE, et al. The Effectiveness of Lifestyle Adaptation for the Prevention of Prediabetes in Adults: A Systematic Review. *J Diabetes Res*. 2017;2017:8493145.
38. Stevens JW, Khunti K, Harvey R, Johnson M, Preston L, Woods HB, et al. Preventing the progression to type 2 diabetes mellitus in adults at high risk: a systematic review and network meta-analysis of lifestyle, pharmacological and surgical interventions. *Diabetes Res Clin Pract*. marzo de 2015;107(3):320-31.

39. Aguiar EJ, Morgan PJ, Collins CE, Plotnikoff RC, Callister R. Efficacy of interventions that include diet, aerobic and resistance training components for type 2 diabetes prevention: a systematic review with meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 15 de enero de 2014;11:2.
40. Yates T, Khunti K, Bull F, Gorely T, Davies MJ. The role of physical activity in the management of impaired glucose tolerance: a systematic review. *Diabetologia.* junio de 2007;50(6):1116-26.
41. Hrubeniuk TJ, Bouchard DR, Goulet EDB, Gurd B, Sénéchal M. The ability of exercise to meaningfully improve glucose tolerance in people living with prediabetes: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* febrero de 2020;30(2):209-16.
42. De Nardi AT, Tolves T, Lenzi TL, Signori LU, Silva AMV da. High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: A meta-analysis. *Diabetes Res Clin Pract.* marzo de 2018;137:149-59.
43. Savoye M, Caprio S, Dziura J, Camp A, Germain G, Summers C, et al. Reversal of early abnormalities in glucose metabolism in obese youth: results of an intensive lifestyle randomized controlled trial. *Diabetes Care.* febrero de 2014;37(2):317-24.
44. Ryan AS, Ortmeier HK, Sorkin JD. Exercise with calorie restriction improves insulin sensitivity and glycogen synthase activity in obese postmenopausal women with impaired glucose tolerance. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1 de enero de 2012;302(1):E145-152.
45. Liu Y, Wang Y, Ni Y, Cheung CKY, Lam KSL, Wang Y, et al. Gut Microbiome Fermentation Determines the Efficacy of Exercise for Diabetes Prevention. *Cell Metab.* 7 de enero de 2020;31(1):77-91.e5.
46. Rowan CP, Riddell MC, Gledhill N, Jamnik VK. Aerobic Exercise Training Modalities and Prediabetes Risk Reduction. *Med Sci Sports Exerc.* marzo de 2017;49(3):403-12.
47. Cheng S, Ge J, Zhao C, Le S, Yang Y, Ke D, et al. Effect of aerobic exercise and diet on liver fat in pre-diabetic patients with non-alcoholic-fatty-liver-disease: A randomized controlled trial. *Sci Rep.* 21 de noviembre de 2017;7(1):15952.
48. Gilbertson NM, Eichner NZM, Francois M, Gaitán JM, Heiston EM, Weltman A, et al. Glucose Tolerance is Linked to Postprandial Fuel Use Independent of Exercise Dose. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2018;50(10):2058-66.
49. Eikenberg JD, Savla J, Marinik EL, Davy KP, Pownall J, Baugh ME, et al. Prediabetes Phenotype Influences Improvements in Glucose Homeostasis with Resistance Training. *PloS One.* 2016;11(2):e0148009.
50. Gilbertson NM, Mandelson JA, Hilovsky K, Akers JD, Hargens TA, Wenos DL, et al. Combining supervised run interval training or moderate-intensity continuous training with the diabetes prevention program on clinical outcomes. *Eur J Appl Physiol.* julio de 2019;119(7):1503-12.
51. Yuan X, Dai X, Liu L, Hsue C, Miller JD, Fang Z, et al. Comparing the effects of 6 months aerobic exercise and resistance training on metabolic control and β -cell function in

- Chinese patients with prediabetes: A multicenter randomized controlled trial. *J Diabetes*. enero de 2020;12(1):25-37.
52. Alvarez C, Ramírez R, Flores M, Zúñiga C, Celis-Morales CA. [Effect of sprint interval training and resistance exercise on metabolic markers in overweight women]. *Rev Med Chil*. octubre de 2012;140(10):1289-96.
 53. Marcus RL, Lastayo PC, Dibble LE, Hill L, McClain DA. Increased strength and physical performance with eccentric training in women with impaired glucose tolerance: a pilot study. *J Womens Health* 2002. febrero de 2009;18(2):253-60.
 54. Malin SK, Solomon TPJ, Blaszcak A, Finnegan S, Filion J, Kirwan JP. Pancreatic β -cell function increases in a linear dose-response manner following exercise training in adults with prediabetes. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 15 de noviembre de 2013;305(10):E1248-1254.
 55. Malin SK, Nightingale J, Choi S-E, Chipkin SR, Braun B. Metformin modifies the exercise training effects on risk factors for cardiovascular disease in impaired glucose tolerant adults. *Obes Silver Spring Md*. enero de 2013;21(1):93-100.
 56. Malin SK, Gerber R, Chipkin SR, Braun B. Independent and combined effects of exercise training and metformin on insulin sensitivity in individuals with prediabetes. *Diabetes Care*. enero de 2012;35(1):131-6.
 57. Rett K, Gottwald-Hostalek U. Understanding prediabetes: definition, prevalence, burden and treatment options for an emerging disease. *Curr Med Res Opin*. 2 de septiembre de 2019;35(9):1529-34.
 58. Zand A, Ibrahim K, Patham B. Prediabetes: Why Should We Care? *Methodist DeBakey Cardiovasc J*. diciembre de 2018;14(4):289-97.
 59. Karvonen J, Vuorimaa T. Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities. *Sports Med*. 1 de mayo de 1988;5(5):303-11.
 60. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. enero de 2001;37(1):153-6.
 61. Heyward VH, Gibson AL. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. Champaign, IL; 2014. 552 p.
 62. LeSuer DA, McCormick JH, Mayhew J, Wasserstein R, Arnold MD. *The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift*. 1997;

ANEXO:

Tabla 12. Estructura y organización de los subgrupos. Elaboración propia.

	Subgrupos	Hora	Lunes	M	Miércoles	J	Viernes
Mañana	1	8:00-9:10	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	2	9:20-10:30	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	3	10:40-11:50	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	4	12:00-13:10	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
Tarde	5	16:00-17:10	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	6	17:20-18:30	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	7	18:40-19:50	Sesión	D	Sesión	D	Sesión
	8	20:00-21:10	Sesión	D	Sesión	D	Sesión



Figura 4. Press de banca con mancuerna. Elaboración propia.



Figura 5. Press militar con mancuerna. Elaboración propia.



Figura 6. Remo con mancuerna. Elaboración propia.



Figura 7. Máquina de pectoral. Elaboración propia.



Figura 8. Jalón al pecho. Elaboración propia.



Figura 9. Prensa de pierna. Elaboración propia.



Figura 10. *Curl* Femoral. Elaboración propia.



Figura 11. Extensión de cuádriceps. Elaboración propia.



Figura 12. Plancha abdominal. Elaboración propia.



Figura 13. Cicloergómetro. Elaboración propia.



Figura 14. Elíptica. Elaboración propia.



Figura 15. Cinta de correr. Elaboración propia.



Figura 16. Elevaciones laterales. Elaboración propia.



Figura 17. Balístico frontal con flexión de rodilla. Elaboración propia



Figura 18. Balístico lateral (Abd-Add). Elaboración propia



Figura 19. Balístico frontal sin flexión de rodilla. Elaboración propia



Figura 20. Abd-Add Horizontal



Figura 21. Movimientos rotatorios hacia delante. Elaboración propia.



Figura 22. Movimientos rotatorios hacia detrás. Elaboración propia.



Figura 23. Movimientos rotatorios de muñeca. Elaboración propia.



Figura 24. Movimientos rotatorios de rodilla. Elaboración propia.

Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

Figura 25. Escala PEDro. (Obtenida de <https://pedro.org.au/spanish/resources/pedro-scale/>)